

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE DESIGN

VÝSUVNÁ ZADNÍ NÁPRAVA MALÉHO MĚSTSKÉHO AUTOMOBILU

THE REAR AXLE OF A SMALL URBAN CAR

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR FIŠER

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DANIEL KOUTNÝ, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Petr Fišer

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Konstrukční inženýrství (2301T037)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výsuvná zadní náprava malého městského automobilu

v anglickém jazyce:

The rear axle of a small urban car

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh netradičního nosného rámu zadní nápravy malého městského užitkového automobilu s těmito parametry:

vysunutí zadní nápravy o 800-1200 mm, nosnost do 360 kg.

Cíle diplomové práce:

Diplomová práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Analýza problému a cíl práce
4. Návrh konstrukčních řešení
5. Výsledné konstrukční řešení
6. Diskuze
7. Závěr
8. Seznam použitých zdrojů

Forma práce: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, digitální data, funkční výrobek

Typ práce: konstrukční; Účel práce: výzkum a vývoj

Výstup práce: prototyp, funkční vzorek (G); Projekt: Zakázka doplňkové činnosti (HS)

Rozsah práce: cca 72 000 znaku (40 - 50 stran textu bez obrázku)

Zásady pro vypracování práce:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2014.pdf

Šablona práce: http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/UK_sablona_praci.zip

Seznam odborné literatury:

SHIGLEY, J. E, MISCHKE, Ch. R, BUDYNAS, R. G. KONSTRUOVÁNÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ. VUTIAM, 2008. 1300 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Daniel Koutný, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 22.11.2013

L.S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem a konstrukcí netradičního nosného rámu zadní nápravy malého městského užitkového automobilu. Rám umožňuje změnu rozvoru náprav pomocí vysouvání zadní části. Automobil tak může být dle potřeby používán v krátké nebo dlouhé užitkové verzi.

Hlavní část práce popisuje návrh variant řešení, výběr varianty a popis hlavních částí zvoleného konstrukčního řešení. Práce je uzavřena popisem výroby výsuvné zadní nápravy.

Klíčová slova:

Výsuvná zadní náprava, rám, elektromotor, napětí

ABSTRACT

This Master's thesis is dedicated to innovative structural design of the supporting frame rear axle of a small urban utility vehicle. The frame allows you to change the wheel base by sliding rear axle so the car can be used in its short or long version.

The main part begins with description of the design solutions and continues with selection of a solution and description of its main parts. The work is finished by description of the production the rear axle.

Key words:

Sliding rear axle, frame, electric motor, strain

Bibliografická citace:

FIŠER, P. *Výsuvná zadní náprava malého městského automobilu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 88 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Daniel Koutný, Ph.D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně za použití uvedené literatury pod vedením pana Ing. Daniela Koutného, Ph.D.

V Brně dne 22. května 2014

.....
Bc. Petr Fišer

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Danielu Koutnému, Ph.D., za cenné odborné rady a náměty. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Jiřímu Kozákovi a firmě Kovo-plazma s.r.o., která se podílela na vývoji kluzného vedení použitého k vysouvání zadní nápravy.

OBSAH

Obsah	11
Úvod	13
1 Přehled současného stavu poznání.....	14
1.1 Malý užitkový elektromobil pro městský a příměstský provoz	14
1.1.1 Prodávané užitkové elektromobily	14
1.1.2 Užitkový městský elektromobil s výsuvnou zadní nápravou	18
1.2 Povrchová úprava ploch kluzného vedení	21
1.2.1 Plazmová Nitridace.....	21
1.2.2 Oxinitridace	22
1.2.3 Depozice tenkých vrstev	23
1.2.4 Duplexní povlakování.....	24
2 Analýza problému a cíl práce	25
2.1 Technická analýza	25
2.1.1 Požadavky kladené na konstrukci nosného rámu	25
2.1.2 Technické možnosti	27
2.2 Vývojová analýza	28
2.3 Cíl práce.....	28
3 Návrh konstrukčních řešení	29
3.1 Nosný rám výsuvné zadní nápravy.....	29
3.1.1 Princip vysouvání	29
3.1.2 Pohon vysouvání	30
3.1.3 Zakrytování funkčních ploch kluzného vedení	31
3.1.4 Zajištění lineárního vedení ve výchozích polohách	33
3.2 Přední náprava	34
3.3 Umístění pohonného elektromotoru	35
3.4 Zadní náprava	35
3.5 Výběr varianty řešení.....	36
3.5.1 Nosný rám výsuvné zadní nápravy.....	36
3.5.2 Zadní náprava	37
4 Výsledné konstrukční řešení.....	38
4.1 Dosažené základní technické údaje zvoleného řešení	38
4.1.1 Rozmístění a základní popis jednotlivých komponentů nosného rámu	38
4.1.2 Hlavní rozměry podvozku elektromobilu	40
4.2 Princip vysouvání zadní nápravy elektromobilu	40
4.3 Jednotlivé konstrukční uzly	42
4.3.1 Kluzné vedení	42
4.3.2 Pevná část rámu	44
4.3.3 Pohyblivá část rámu	45
4.3.4 Vodící kolejnička.....	55
4.3.5 Rám korby	55
4.3.6 Zajišťovací zařízení	57
4.3.7 Zakrytování pohyblivých částí vedení.....	63
4.3.8 Uchycení přední nápravy Trabant 601	65
4.3.9 Uchycení zadní nápravy Trabant 601	66
4.4 MKP analýza rámu	66
4.4.1 Základní analýza.....	68

4.4.2 Vozidlo při rozjezdu	69
4.4.3 Vozidlo při intenzivním brzdění	70
4.4.4 Zhodnocení výsledků MKP analýz rámu	72
4.6 Výroba prototypu	73
4.6.1 Rozebírání a renovace náprav	73
4.6.2 Výroba kluzného vedení	74
4.6.3 Výroba pevné a pohyblivé části rámu	75
4.6.4 Provozní zajišťování	76
4.6.5 Montáž výsuvné zadní nápravy	77
4.6.6 Testování výsuvné zadní nápravy	78
5 Diskuze	81
6 Závěr	82
7 Seznam použitých zdrojů	83
8 Seznam použitých zkratk, symbolů a veličin	84
9 Seznam obrázků a grafů	85
10 Seznam příloh	87
Výkresová dokumentace	87

ÚVOD

Automobil patří k našemu běžnému životu. Mnoho z nás jej denně používá k dopravě do zaměstnání, přepravě nákladů, i pro zábavu. Vzhledem k tomu, že velká většina automobilů ještě stále používá pro svůj pohon spalovací motorů, dochází ve velkých městech a na místech s velmi hustým provozem ke koncentraci výfukových zplodin. To má za následek, že v těchto místech dochází často ke zhoršení kvality ovzduší a tím i životních podmínek. Vzhledem k tomu, že výfukové zplodiny jsou zdraví škodlivé, je snahou na nejvíce exponovaných místech produkci výfukových plynů regulovat. To se děje několika způsoby: omezením vjezdu jen pro vybraná vozidla; zákazu jízdy automobilům, které nesplňují určitou emisní třídu; atp.

Další možností, jak podobné situaci čelit, je rozvoj vozidel s alternativním pohonem, přičemž jednou z těchto kategorií jsou i elektromobily. Jejich většímu rozvoji doposud bránily především velké pořizovací náklady a hmotnost akumulátorů, malý akční rádius vozidla a v neposlední řadě i dlouhé nabíjecí časy. S příchodem nových typů akumulátorů a se snižováním jejich ceny se začíná situace měnit a největším problémem prozatím u elektromobilů zůstává především dojezd na jedno nabití. To je ale problém týkající se především vozidel, u kterých je požadován dojezd řádově ve stovkách km.

Myšlenkou této diplomové práce je vytvořit funkční vzorek rámu výsuvné zadní nápravy malého užitkového elektromobilu vhodného pro městský, popř. příměstský provoz. V tomto případě dojezd poskytovaný soudobými akumulátory plně dostačuje. Velkou výhodou pro městský provoz by měly být nulové emise elektromotoru a jeho malá hlučnost. Zvlášť vhodný by tento elektromobil mohl být například u technických služeb města nebo při rozvozu menšího množství zboží do obchodů, kde by se mohla využít jak jeho nízká hlučnost (např. parky, pěší zóny, atd.), tak i výsuvná zadní náprava, jejíž použití umožňuje využít jak maximální možnou manévrovatelnost vozidla, tak i dostatečně velký úložný prostor.

1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

1.1 Malý užitkový elektromobil pro městský a příměstský provoz

Slouží k dopravě nákladů na krátké vzdálenosti. Je vhodný do hustého městského provozu a oblastí, kde je vyžadována nízká hluchnost provozu (parky, pěší zóny, středy měst, atp.). Mezi hlavní výhody patří již zmiňovaná nízká hluchnost, nulové emise a nízké náklady na samotný provoz. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady (koupě akumulátorů) a údržba akumulátorů. Nižší dojezd u tohoto typu vozidel není větší překážkou, neboť nejsou určena na dlouhé cesty. Také se předpokládá, že ve městech a jejich blízkém okolí nebude problém s případným dobíjením akumulátorů.

1.1.1 Prodávané užitkové elektromobily

Současne prodávána vozidla této kategorie jsou obvykle jednoduché konstrukce a nedisponují příliš velkou maximální rychlostí. Část vozidel také není schválena pro provoz na veřejných komunikacích a slouží jen na uzavřeném prostranství soukromých areálů jako jsou letiště, golfové hřiště, atd. V následujících podkapitolách bude představeno několik zástupců vozidel této kategorie, kteří svými parametry odpovídají požadavkům na nově konstruovaný elektromobil.

1.1.1.1 GWL Elta

1.1.1.1

Jedná se o elektrický užitkový manipulační vůz. Automobil je primárně určen pro provoz mimo veřejné komunikace - především na letištích, drahách, nástupištích a v dalších obdobných provozech. V případě potřeby však toto vozidlo může být individuálně k provozu na veřejných komunikacích v rámci EU schváleno [3].

GWL Elta – základní technické parametry

Užitečná zátěž:	2 osoby, až 500kg nákladu
Maximální rychlost:	38 km/h
Základní rozměry (DxŠxV):	3780 x 1510 x 1780 mm
Rozvor náprav:	2590 mm
Hmotnost:	830 kg
Motor:	3,7 kw
Akumulátor:	8 x 6V/210 Ah
Dojezd:	60 km



Obr. 1-1 GWL Elta [3].

1.1.1.2 N. CAR 341

Užitkový elektromobil schválený pro provoz na veřejných komunikacích. Základní rám je proveden jako svařovaná ocelová konstrukce, karoserie je vyrobena z plastu a laminátu. Elektromobil je plně osvětlen pomocí LED diod. Kabina je vybavená palubní deskou s LCD displejem a jsou v ní umístěny dvě sedačky včetně bezpečnostních pásů [4].

N.CAR 341 – základní technické parametry

Užitečná zátěž:	2 osoby, až 250kg nákladu
Maximální rychlost:	až 43 km/h
Základní rozměry (DxŠ):	3005 x 1270 mm
Rozvor náprav:	1630 mm
Rozměry ložné plochy:	1110x690 mm
Hmotnost:	765 kg
Motor:	AC 3,3 kw
Akumulátor:	8 x 240 Ah
Dojezd:	60 - 80 km



Obr. 1-2 N.CAR 341 [4].

1.1.1.3 Alke´ XT320E

1.1.1.3

Automobil vyšší užitné třídy, který je určen pro celodenní využití. Vyznačuje se robustní konstrukcí, velkým výkonem elektromotoru a dostatečnou kapacitou akumulátorů. Je schválen pro provoz na pozemních komunikacích. Regulace rychlosti je prováděna jak elektronicky, tak i pomocí mechanické převodovky – redukce, takže v těžších terénních podmínkách lze zařadit redukci a využívat pohonu, aniž by byl motor přetěžován. V případě předpokládané delší jízdy na jedno nabití je v konstrukci tohoto elektromobilu počítáno s možností instalace přídatného akumulátoru o dvojnásobné kapacitě. Automobil je plně osvětlen a vybaven veškerým běžným příslušenstvím včetně např. vytápění kabiny řidiče [5].

Alke´ XT320E – základní technické parametry

Užitečná zátěž:	2 osoby, 640 (1000) kg nákladu (dle použité baterie)
Maximální rychlost:	60 km/h
Základní rozměry (DxŠxV):	3850 x 1425 x 2050 mm
Rozvor náprav:	1950 mm
Rozměry ložné plochy:	2200x1400 mm
Hmotnost:	980 kg
Motor:	AC 13 kw
Akumulátor:	13 (26) kWh
Dojezd:	100 (200) km



Obr. 1-3 Alke´ XT320E [5].

1.1.2 Užitečný městský elektromobil s výsuvnou zadní nápravou

Vzhledem k tomu, že tato kategorie vozidel je nová a vozidla s výsuvnou nápravou se ještě běžně nevyrábí, jsou následující podkapitoly zaměřeny především na designérské návrhy vozidel, které předpokládají použití této technologie.

1.1.2.1 Designérský návrh CarGo

Autor designérského návrhu Adam Schacter popisuje svůj elektromobil jako jednomístný vůz užitkového typu, který je optimalizovaný pro rozvoz menšího množství nákladu v městském provozu. Výhodně je zde zanesena konstrukce výsuvné zadní nápravy, díky níž lze elektromobil provozovat v několika jízdních režimech, z nichž každý má své opodstatnění [6].

Krátká varianta

V případě, že vozidlo nevezze větší množství nákladu a pro jeho uložení dostačuje korba ve vzpřímené poloze, může být tento elektromobil provozován v tzv. kompaktním režimu. Zadní náprava je zasunutá na maximum a rozvor náprav je nejkratší. Vozidlo v této jízdní konfiguraci má nejlepší možnou manévrovatelnost, což lze s výhodou využít v hustém městském provozu a zejména při parkování [6].



Obr. 1-4 CarGo Krátká varianta – korba ve vertikální poloze [6].

Úzká varianta

Designérský návrh počítá s možností, že se bude dát měnit i rozchod kol. Tato varianta sdružuje úzký rozchod kol a částečně vysunutou zadní nápravu. Elektromobil se při zatáčení naklání obdobně jako motocykl. Představou designéra je, že by při této jízdní variantě měl elektromobil lépe „proplouvat“ mezi automobily v hustém městském provozu [6].

Dlouhá varianta

Neboli varianta Pick-up. Při použití tohoto režimu jízdy je pohyblivá zadní náprava plně vysunutá a korba je sklopená do vodorovné polohy, rozvor náprav je maximální. Je tak umožněno naplno využít úložného prostoru pro převoz nákladu [6].



Obr. 1-6 CarGo Dlouhá varianta – korba ve vodorovné poloze [6].

Úložný prostor pro přepravovaný náklad (viz obr.1-7) je v tomto konceptu řešen jako multifunkční korba, kterou je možno jak ve svislé, tak i ve vodorovné poloze přestavovat do mnoha funkčních konfigurací.

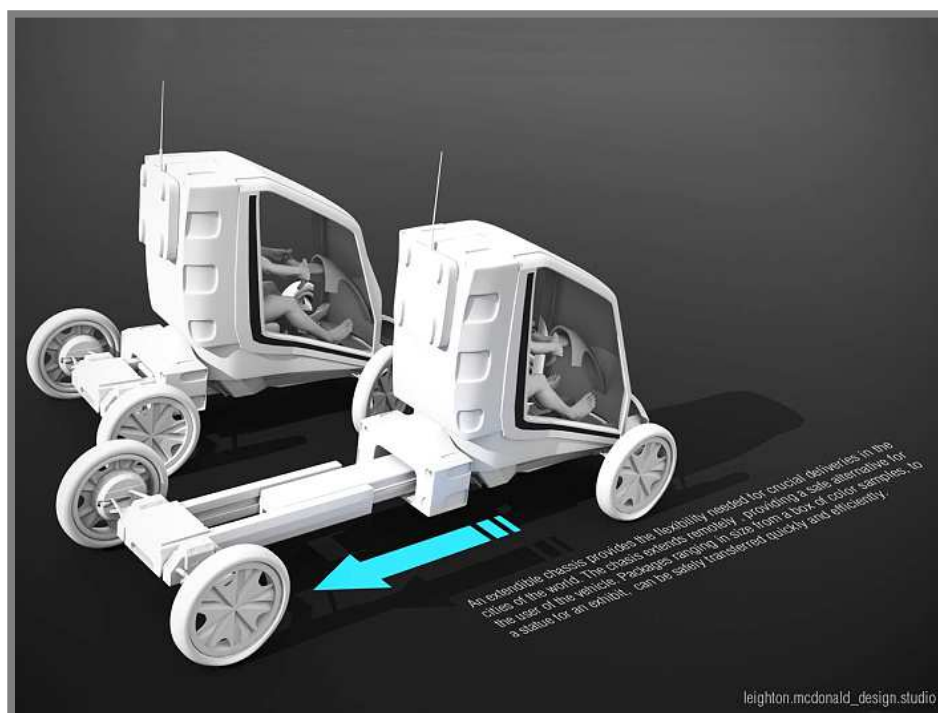


Obr. 1-7 CarGo úložný prostor – korba a její multifunkčnost [6].

Koncept elektromobilu CarGo je velmi dobře propracován vzhledem k požadavkům na jednotlivé funkce. Zvláště mne zaujalo, jak jsou promyšleny jednotlivé jízdní režimy a také multifunkčnost instalované korby. Dle mého názoru je však tento koncept až příliš přehlcen požadavky na nejrůznější funkce a pokud by se v reálu podařilo do tohoto vozítka všechny potřebné komponenty nainstalovat, rozhodně by se nedalo mluvit o jednoduché, potažmo levné konstrukci. Jako další možnou nevýhodu vidím i to, že kabina je určena pouze pro jednu osobu - řidiče a neumožňuje jízdu spolujezdcí.

1.1.2.2 Designérský návrh RDV (Rapid Delivery Vehicle)

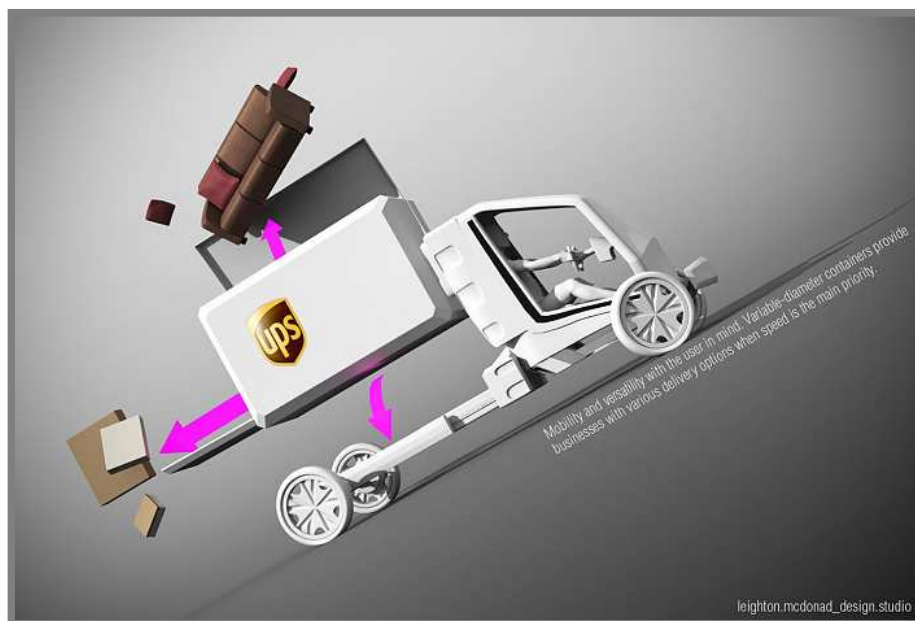
Tento designérský návrh vytvořil Leighton McDonald. Jedná se o obdobnou konstrukci jako v předchozím případě u designérského návrhu CarGo. Opět je zde ke změně rozvoru náprav využito lineární vysouvání zadní nápravy. Autor návrhu si však představuje konstrukci vysouvání tak, že pevnou část rámu tvoří jeden základní nosník, který zároveň funguje i jako kluzné vedení. V tomto základním nosníku se pohybují dva další kluzné profily fungující jako protikusy, které jsou připevněny naopak k pohyblivé části rámu. Po technické stránce však autor nic bližšího k této konstrukci neuvádí a tak se lze jen domnívat, jak si představuje přesný tvar profilů a jakým způsobem by mělo vysouvání nápravy probíhat. Jediné, co autor zmiňuje je, že při vysunutí zadní nápravy by se rozvor náprav měl zvětšit na dvojnásobek [7].



Obr. 1-8 RDV – lineární vysouvání zadní nápravy [7].

Koncept elektromobilu RDV je oproti elektromobilu CarGo odlišný v pohledu na úložný prostor pro užitečnou zátěž. Zatímco koncept CarGo počítá s korbou, která je na něm umístěna stabilně a pohybuje se souběžně s vysouvající se zadní nápravou, elektromobil RDV obdobný systém sklápění korby postrádá. Přednostně je totiž elektromobil provozován bez úložného prostoru a teprve v případě, že je potřeba nějaký náklad převést, je vysunuta zadní náprava, na kterou je následně úložný prostor nainstalován (viz obr. 1-9).

Z pohledu možnosti rychlé změny jízdní konfigurace vozidla z krátké varianty na dlouhou, která umožňuje převoz nákladu, se jeví koncepce RDV vůči CarGo jako méně výhodná, neboť CarGo má úložný prostor pro užitečnou zátěž stále připevněn a to i při jízdě v krátké variantě (korba ve svislé poloze umožňuje uložení omezeného množství nákladu). Elektromobil RDV naopak umožňuje použití sady převozních kontejnerů, které mohou být dopředu naloženy a poté teprve uloženy na samotný elektromobil, čímž lze lépe využít přepravní čas.



Obr. 1-9 RDV – manipulace s úložným prostorem [7].

1.2 Povrchová úprava ploch kluzného vedení

1.2

Kluzné vedení, které je základním prvkem celého nosného rámu, umožňuje spolehlivou a jednoduchou funkci vysouvání. Tato varianta řešení ovšem způsobuje i několik komplikací. Jednou z nich je vyšší součinitel tření. V následujících podkapitolách jsou uvedeny metody povrchových úprav používané ke snížení koeficientu tření, které budou na kluzném vedení provedeny.

1.2.1 Plazmová Nitridace

1.2.1

Plazmová nitridace je řazena k procesům chemicko – tepelného zpracování, u kterého je možné variabilně měnit vlastnosti povrchových vrstev materiálu. Celý proces je založen na difúzi dusíku do oceli, kde vytváří nitridy železa a legujících prvků (Cr, V, Mo, Ti, Al, W, atp.). Vlastnosti plazmově nitridovaného povrchu jsou závislé na několika parametrech, jako je typ oceli (obsah legur, způsob základního tepelného zpracování, atd.) a poměrech vlastní plazmové nitridace [8].

Plazmou jsou nazývány ionizované plyny, které vznikají elektrickým výbojem plynu. Při plazmové nitridaci je veden elektrický proud plynem. Při tomto procesu slouží stěna pece jako anoda a součást určená k nitridaci jako katoda. Působením toku elektrického proudu dochází k výboji modro fialové barvy, který během procesu rovnoměrně pokryje povrch nitridované součásti. Vlastní proces nitridace probíhá jako vzájemné působení mezi nitridovaným povrchem součásti a plazmovým plynem [9].

Průběh plazmové nitridace [9]:

Ohřev:

Součásti určené k nitridaci jsou za přítomnosti ochranné atmosféry pomocí vytápění ohřáty na požadovanou teplotu.

Čištění a aktivace povrchu:

V tomto procesu jsou odstraňovány pasivní vrstvy, což umožňuje nitridovat korozivzdorné oceli a ostatní materiály obsahující pasivní kovové vrstvy.

Nitridace:

Při samotné nitridaci jsou řízeny následující parametry: teplota vsázky, atmosféra (směs N_2 , H_2), teplota, doba nitridace, tlak v zařízení. Všechny tyto parametry ovlivňují konečné vlastnosti nitridovaného povrchu.

Ochlazení:

Po ukončení samotného procesu nitridace se přejde na ochlazování nitridované součásti. Tento proces probíhá v ochranné atmosféře.

Výhody plazmové nitridace [9]:

- Možnost řídit proces nitridace a přizpůsobit ji tak požadavkům jednotlivých druhů materiálu.
- Plazmová nitridace způsobuje jen malé rozměrové změny a nepatrné změny drsnosti povrchu součásti, proto lze mít součásti před samotnou nitridací obrobena již na finální rozměry.
- Vhodné i pro nitridaci korozivzdorných ocelí
- Jednoduché krytí ploch, které nemají být nitridovány
- V porovnání s ostatními technologiemi nitridování ekologicky šetrný proces

1.2.2 Oxinitridace

Oxinitridace probíhá jako dokončovací operace celého procesu, kdy na povrchu vytvořená vrstva nitridů železa oxiduje a vzniká vrstva oxidu železa (Fe_3O_4 = magnetitu), která je prostá pórů. Přes svoji relativně malou sílu (1 -2 mikrometry) zabezpečuje dobrou odolnost proti korozi a to jak působením vody, tak i proti slabým kyselinám a louhům. K této vlastnosti se přidružuje zlepšení třecích vlastností dílů. Z nepatrné síly oxidované vrstvy je patrné, že díly je nutné zhotovit na konečné rozměry, neboť již není možné žádné následné opracování. Obecně platí, že čím je povrch dílů jemněji obroben (broušen, lapován, atp.), tím jsou parametry (korozivzdornost, tření, vzhled, atd.) oxidované vrstvy lepší [8].

1.2.3 Depozice tenkých vrstev

Pro depozici tenkých vrstev se obvykle používá jedna ze dvou základních metod:

- Chemická metoda – Chemical Vapour Deposition (CVD)
- Fyzikální metoda – Physical Vapour Deposition (PVD)

Chemická metoda (CVD)

Tato metoda využívá k depozici tenkých vrstev směs chemicky reaktivních plynů (např. CH_4 , C_2H_2 , apod.) zahřátou na teplotu $900 - 1100^\circ\text{C}$. Reakční složky jsou přiváděny v plynné fázi a vrstva vzniká na povrchu substrátu heterogenní reakcí.

Tenká vrstva se na povrchu materiálu vytváří díky chemickým procesům, které probíhají v plazmatu a také přímo na rozhraní mezi plazmatem a povrchem substrátu. Reakční složky jsou přiváděny v plynné fázi a za vysokých teplot se rozkládají. Vrstva pak vzniká na povrchu substrátu heterogenní reakcí [10].

Výhody:

- Vysoká odolnost proti opotřebení
- Ekonomicky nejvýhodnější pro povlakování silnějších vrstev
- Vhodné k povlakování nepřístupných dutin a drážek

Nevýhody:

- Vysoká teplota potřebná pro depozici vrstvy
- Při tvoření tlustší vrstvy povlaku zaoblování hran
- Ekologicky problematické – k depozici vrstev se používá toxických chloridů kovů

Fyzikální metoda (PVD)

Podstatou této metody je vypařování materiálu (Ti, Al, Si, Cr, atd.), který vytváří vrstvu ve vakuu nebo rozprašování ve výboji udržovaném za nízkých tlaků a jeho následné nanesení na substrát.

Vysoká čistota procesu je zajištěna díky tepelnému odpařování materiálu určeného k povlakování. Současně s tímto procesem je vpuštěn i aktivní plyn (např. dusík), který reaguje s kovovými parami a vytváří tak chemickou sloučeninu. Ta se pak následně deponuje na substrát jako tenká a vysoce přilnavá vrstva [10].

Výhody:

- PVD proces se uskutečňuje ve vysokém stupni vakua při teplotě pouze $150 - 500^\circ\text{C}$
- Vysoká odolnost vrstev a nízký koeficient tření.
- Možnost vytvoření velkého množství různých kombinací vrstev s důrazem na přesnost jejich tloušťek.
- Ekologicky nejšetrnější způsob depozice vrstev. Při použití fyzikální metody depozice nejsou použity žádné nebezpečné materiály a nejsou uvolňovány žádné toxické látky.

Nevýhody:

- Pro tvorbu silnějších vrstev povlaků je vhodnější použít chemickou metodu.

Mezi hlavní rozdíly mezi oběma metodami nanášení tenkých vrstev tedy patří teplota při aplikaci a způsob přípravy vrstvy – u PVD z pevného terče a u CVD z plynu [10].

1.2.4 Duplexní povlakování

Duplexní povlakování patří mezi moderní technologie, které se používají ke zlepšení tribologických vlastností povrchů. Spočívá v tom, že povrch součásti je nejdříve naitridován a poté je na této vrstvě provedeno PVD povlakování. Tato technologie tedy spojuje výhody nitridace a PVD povlaků, neboť PVD povlaky zajišťují vysokou tvrdost povrchu a nitridace gradient tvrdosti od povrchu do základního materiálu, což vede k zajištění ještě lepší životnosti povrchu. Nejvhodnější technologií pro vytvoření nitridace, která se provádí před PVD povlakováním, je pulzní plazmová nitridace, neboť u ní lze zajistit přesné řízení a tak i požadované vlastnosti naitridované vrstvy.

Při vytváření duplexních vrstev povlaků se klade důraz na dosažení největší možné adheze PVD povlaku na naitridovanou vrstvu a vytvoření tak nejvyšší odolnosti proti opotřebení, přičemž úspěšnost nejvíce ovlivňuje samotná nitridace. Proto je potřeba najít optimální podmínky pro nitridaci, které se nemusí shodovat s podmínkami, při kterých se dosahuje maximální možné odolnosti proti opotřebení při použití pouze samotné nitridace [11].

2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

2

2.1 Technická analýza

2.1

2.1.1 Požadavky kladené na konstrukci nosného rámu

2.1.1

Zadavatelem této diplomové práce je firma Termobit. Tato firma – konstrukční kancelář, se zabývá vývojem především v oblasti elektro, mimo jiné vyvíjí i zařízení vakuové a plazmové techniky. Proto byly požadavky na konstrukci nosného rámu elektromobilu stanoveny tak, aby se mohlo na rámu provádět pokud možno co nejvíce různorodých zkoušek zde nově vyvíjených produktů.

2.1.1.1 Základní požadavky

2.1.1.1

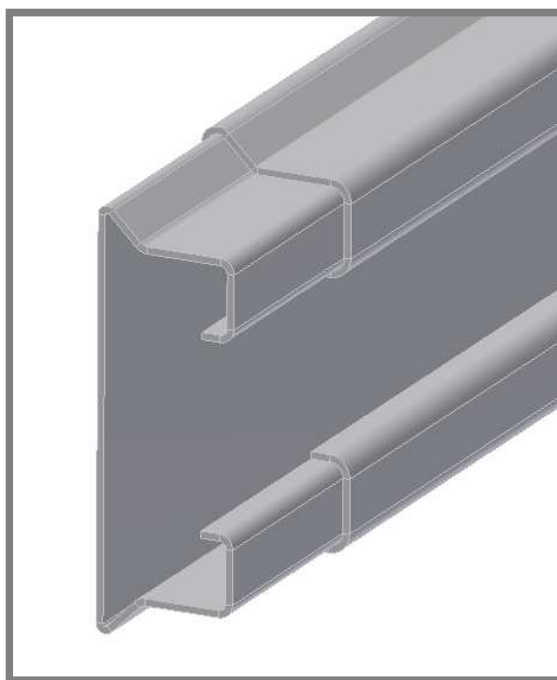
Vysouvání zadní nápravy:	800 - 1200mm
Užitečná zátěž:	2osoby, 360kg nákladu
U krátké verze rozvor náprav:	do 1900mm

2.1.1.2 Vysouvání zadní nápravy

2.1.1.2

Od zadavatele diplomové práce je požadováno, aby pro vysouvání zadní nápravy bylo použito lineární kluzné vedení, které lze vyrobit na ohraňovacích lisech (viz obr. 2-1). Vedení je plánováno opatřit povrchovou úpravou pomocí plazmové nitridace, popř. i depozicí tenkých vrstev a následně zkoušet odolnost povrchu proti opotřebení.

Přesto, že výroba profilů probíhá na přesných strojích, musí se vzhledem k velikosti obvykle provést i dokalibrování, které vyžaduje výrobu několika vzorků. Po kalibraci však lze při výrobě dosahovat přesnosti řádově v desetinách milimetru. Dodavatelem kluzného vedení je firma Kovo-plazma.



Obr. 2-1 Lineární vedení speciálního průřezu

Výhody:

- Možnost snadné kusové a levné malosériové výroby
- Přesnost vyrobených profilů
- Vhodné vzhledem k budoucím záměrům s testováním konstrukce

Nevýhody:

- Tuhost otevřeného profilu (řešeno v kapitole č. 6 - konstrukční řešení)
- Zamezení přístupu nečistot do pohyblivých míst (řešeno v kapitolách č. 5 a 6)
- Otěruvzdornost a větší součinitel tření (řešeno pomocí plazmové nitridace a depozice tenkých vrstev) je předmětem dalšího testování firmou Termobit.

2.1.1.3 Přední náprava

V průběhu práce na nosném rámu zadní výsuvné nápravy bylo upřesněno použití přední nápravy. Po zvážení všech variant řešení se rozhodlo, že přední náprava prototypu elektromobilu bude pro prvotní přezkoušení převzata z vozu Trabant 601S a to včetně pomocného rámu, ke kterému je připevněna (viz obr. 2-2). I když zadáním této diplomové práce bylo vytvořit pouze konstrukční návrh nosného rámu, bylo potřeba vzít rozhodnutí na vědomí a přizpůsobit přední část rámu tak, aby zde bylo možné zmiňovaný pomocný rám připojit.



Obr. 2-2 Kompletní přední náprava automobilu Trabant 601S včetně pomocného rámu.

Výhody:

- Použitím přední nápravy z vozu Trabant 601 byla získána již kompletně hotová přední část elektromobilu, u které bylo potřeba provést pouze renovaci.
- Celou přední nápravu lze pomocí pomocného rámu jednoduše připevnit ke zbytku konstrukce pouze přes dvě příruby a to pomocí šesti šroubů M10.

Nevýhody:

- Nutnost dodržení maximálního možného zatížení přední nápravy
- Pevně dána světlá výška podvozku elektromobilu, kterou již nelze nijak upravovat

2.1.2 Technické možnosti

Pro konstrukční návrh nosného rámu byl použit program Autodesk Inventor 2010, který byl dále využitý i pro tvorbu výkresové dokumentace. Deformačně napěťová analýza rámu byla provedena v programu Ansys Workbench 12.1.

Výroba prototypu probíhá v dílně zadavatele. Celá konstrukce prototypu je převážně řešena jako svarek z jáčklů, který je doplněný o plechové díly ohýbané na ohraňovacím lisu.

2.1.2

2.2 Vývojová analýza

Jak je z rešeršní části této práce vidět, malé automobily s výsuvnou zadní nápravou prozatím nejsou rozšířeny a stav aktuálního poznání se zakládá především na designérských návrzích. Klasické elektromobily, které odpovídají svými parametry parametrům požadovaným od zadavatele, jsou obvykle jednoduché konstrukce, jejíž základ tvoří rám svařený z ocelových profilů. Často nejsou ani schváleny k provozu na pozemních komunikacích.

Vytváření konstrukce nosného rámu bude probíhat následujícím způsobem. V první fázi se ze získaných poznatků navrhne vždy několik možných řešení jednotlivých konstrukčních uzlů. Z těchto návrhů bude vybrán vždy jeden finální, který se následně podrobně zpracuje v 3D modelu nosného rámu. Následně bude provedena kontrolní simulace zatížení nosného rámu v programu Ansys Workbench 12.1 a také kompletní vypracování výkresové dokumentace. Poslední fází bude samotná výroba rámu výsuvné zadní nápravy elektromobilu a odzkoušení jeho funkce.

2.3 Cíl práce

Hlavním cílem diplomové práce je vytvoření konstrukčního návrhu nosného rámu výsuvné zadní nápravy malého městského užitkového elektromobilu a výroba jeho funkčního vzorku. Konstrukční návrh je závislý na dalších navazujících komponentech a konstrukcích, které po spojení s nosným rámem vytvoří kompletní malý městský užitkový elektromobil. Tento elektromobil bude následně sloužit jak k ověření vhodnosti použití kluzného lineárního vedení k vysouvání zadní nápravy, tak k testování nově vyvíjených produktů. Bude se tedy jednat o jakousi „pojízdnu laboratoř“. V současné době firma Termobit plánuje, že bude na elektromobilu testovat odolnosti povrchových úprav na funkčních částech kluzného vedení (vytvořených za pomoci plazmové nitridace a depozice tenkých vrstev), které by měly zajistit snížení koeficientu tření a zvýšit otěruvzdornost. Dalšími předpokládanými prvky, které budou zkoušeny na tomto prototypu, jsou elektronický diferenciál a nově vyvíjený elektromotor včetně řídicí jednotky.

3 NÁVRH KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ

3

Vzhledem k tomu, že konstrukce nosného rámu se skládá z několika funkčních celků, které lze vzájemně kombinovat, je každý takový celek řešen zvlášť. Při výběru optimální varianty je vždy vybrána jedna finální verze a ta je následně zpracována ve výsledném 3D konstrukčním návrhu nosného rámu. Tento konstrukční návrh je detailně zpracován v kapitole č.6 – Konstrukční řešení.

3.1 Nosný rám výsuvné zadní nápravy

3.1

3.1.1 Princip vysouvání

3.1.1

Varianta A (viz obr. 3-1):

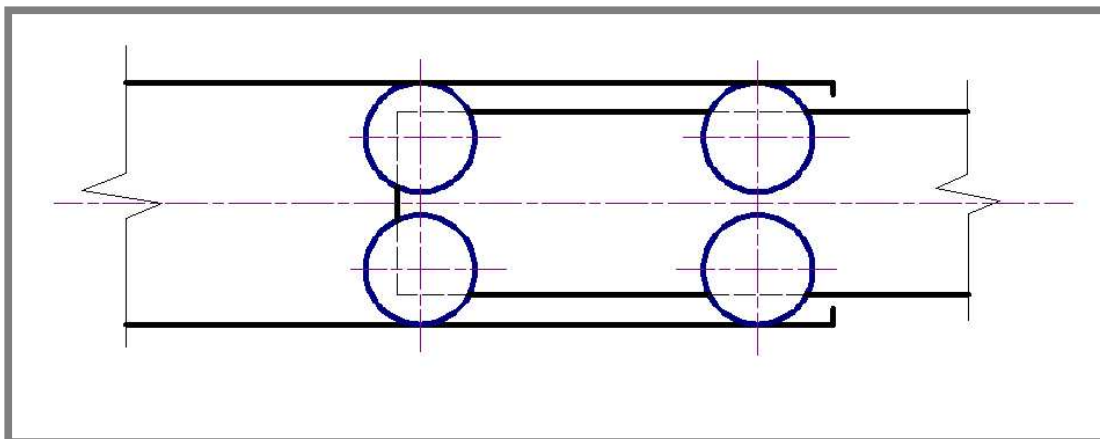
První variantou, jak řešit problematiku lineárního vysouvání zadní výsuvné nápravy elektromobilu, je použít k vedení profilu při vysouvání vodících kladek. V tomto případě by pevnou i pohyblivou část rámu tvořily uzavřené profily obdélníkového průřezu, mezi kterými by byla vůle o velikosti několika milimetrů. Tuto vůli by vymezovaly vodící kladky.

Výhody:

- Valivé uložení vodících kladek
- Možnost seřízení vůlí mezi vodící kladkou a uzavřeným profilem

Nevýhody:

- Složitější konstrukční řešení
- Veškeré zatížení se bude přenášet přes vodící kladky (jejich uložení)



Obr. 3-1 Vysouvání lineárního vedení pomocí vodících kladek (zobrazeny modře).

Varianta B:

Další variantou je použití lineárního kluzného vedení (viz obr. 2-1). Tato varianta je podrobně popsána v kapitole 2.1.1.2

3.1.2 Pohon vysouvání

Varianta A: Vysouvání zadní nápravy pomocí lineárního motoru.

Výhody:

- Nezávislost na hlavním hnacím motoru
- K pohonu lze využít elektřinu z akumulátorů určených pro pohon

Nevýhody:

- Nutná velká délka chodu lineárního motoru
- Potřebný zástavbový prostor v rámu elektromobilu

Varianta B: Vysouvání zadní nápravy pomocí hydraulického válce.

Výhody:

- Nezávislost na hlavním hnacím motoru

Nevýhody:

- Nutnost instalace generátoru hydraulického tlaku
- Hmotnost zařízení
- Potřebný zástavbový prostor v rámu elektromotoru

Varianta C: Použití pojezdu přední nápravy.

Výhody:

- Nemusí se instalovat žádné přídavné zařízení
- K pohonu vysouvání se využije hnací motor elektromobilu
- Nezvýší se hmotnost vozidla

Nevýhody:

- Závislost na hnacím motoru elektromobilu
- Nutnost vytvoření nového jízdního režimu u regulátoru otáček motoru

3.1.3 Zakrytování funkčních ploch kluzného vedení

3.1.3

Základní požadavky na kryty:

Odolnost vůči mechanickým nečistotám, vodě, vlhku a prachu.

Varianta A: Teleskopické kryty (viz obr. 3-2)

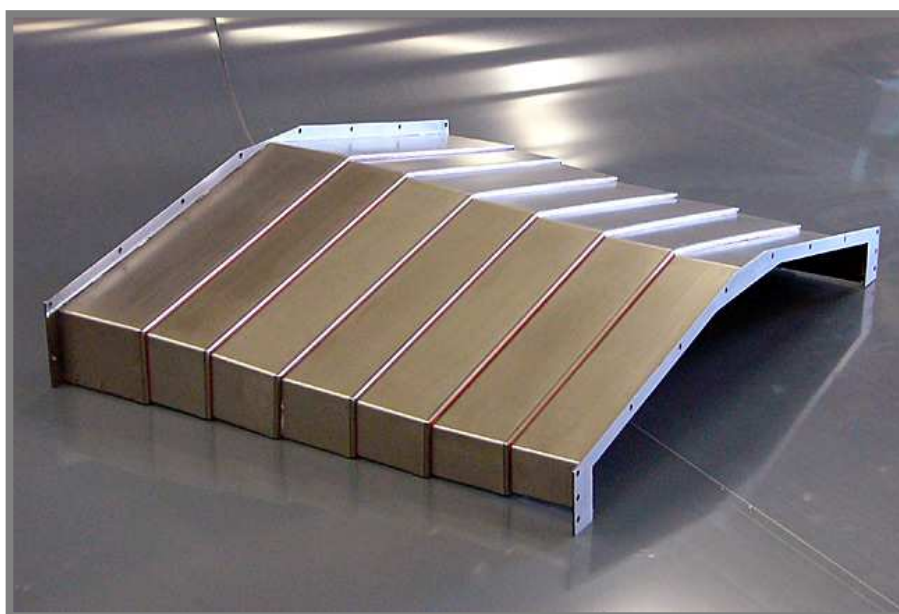
Zakrytování pomocí teleskopických krytů, jejichž jednotlivé články jsou zhotoveny z plechu, se obvykle provádí na místech, kde se předpokládá možnost vnějšího mechanického zatěžování krytu nebo na místech s pravděpodobností tepelného namáhání krytu. Pro účely krytování pohyblivých ploch nosného rámu lze počítat s těmito vlastnostmi:

Výhody:

- Vyšší odolnost proti mechanickému poškození
- Malý zástavbový prostor

Nevýhody:

- Nedostatečná ochrana proti pronikání prachu a vlhkosti [12,13]. Nutnost instalace stěračů. Jejich výhody a nevýhody viz varianta B.



Obr. 3-2 Ukázka teleskopického krytu včetně stěračů (stíracích planžet) [13].

Varianta B: Stěrače (viz obr. 3-3)

Výhody:

- Nenáročné na montážní prostor

Nevýhody:

- Komplikovaný průřez vedení – nutnost vytvoření stěrače na míru
- V místě uzavření vedení pomocí plátu plechu je koutový svar, který po technologické stránce nelze vybrousit a stěrač by se tak rychle opotřebovával.
- Rychlé opotřebení i ostatních částí stěrače v důsledku nalepení nečistot na rám, které by kladly stěrači nepřiměřeně velký odpor (např. nalepení bláta, které následně na rámu zaschne)



Obr. 3-3 Ukázka tvarového stěrače [12].

Varianta C: Krycí měchy (viz obr. 3-4)

Krycí měchy se primárně používají pro ochranu lineárního vedení především u CNC obráběcích strojů, nicméně jejich použití se nabízí i v případě ochrany kluzného vedení výsuvné zadní nápravy.

Výhody:

- Kompletní a účinné zakrytování funkčních ploch proti vodě, prachu i olejům
- Nízká hmotnost
- Snadná instalace
- Nižší cena (u PVC)

Nevýhody:

- Větší náchylnost na mechanické poškození měchu



Obr. 3-4 Základní tvary krycích měchů [12].

3.1.4 Zajištění lineárního vedení ve výchozích polohách

3.1.4

Varianta A: Mechanickou uzávěrou (viz obr. 3-5)

Jednou z možností, jak zajišťovat lineární vedení ve výchozích polohách, je použití dálkově ovládané mechanické uzávěry např. od firmy Heyman (viz obr. 3-5). Uzávěry se prodávají v různých provedeních i velikostech. Nejmhutnější dodávaná uzávěra se vyznačuje závěrnou silou až 13 000N.

Výhody:

- Dlouhá životnost (110 000 cyklů)
- Lze ovládat na dálku pomocí bowdenu
- Prodává se jako hotový výrobek

Nevýhody:

- Systém uzamykání není příliš vhodný pro aplikaci na konstrukci nosného rámu



Obr. 3-5 Uzávěra R4-50 [14].

Varianta B: Lineární elektromagnet (viz obr. 4-19)

Jedná se o mechanismus vlastní konstrukce, který ke svému pohonu používá elektromagnet ze startéru vozu Škoda 105. Více viz kapitola č.4 – konstrukční řešení.

Výhody:

- Jednoduchá konstrukce
- Dobrá návaznost na protikus, se kterým se uzamyká (vodící kámen)
- Elektrický proud je potřeba jen pro odemčení – bezpečnost provozu
- Nízká pořizovací cena

Nevýhody:

- Nutnost vlastní výroby

3.2 Přední náprava

Konstrukce přední nápravy není předmětem této diplomové práce, nicméně vzhledem k tomu, že nosný rám bude muset umožňovat připojení přední nápravy, je třeba znát její parametry. Zadavatelem bylo rozhodnuto jako přední nápravu elektromobilu použít nápravu z vozu Trabant 601S. Podrobnější informace o této nápravě jsou uvedeny v kapitole č. 2 – analýza řešeného problému.

3.3 Umístění pohonného elektromotoru

3.3

Vzhledem k tomu, že jako přední náprava byla použita náprava z Trabantu a to včetně pomocného rámu, byla použita i původní převodovka. Pohonný elektromotor tedy bude připojen k převodovce umístěné na pomocném rámu přední nápravy.

3.4 Zadní náprava

3.4

Varianta A: Lichoběžníková zadní náprava vlastní konstrukce (viz obr. 3-6)

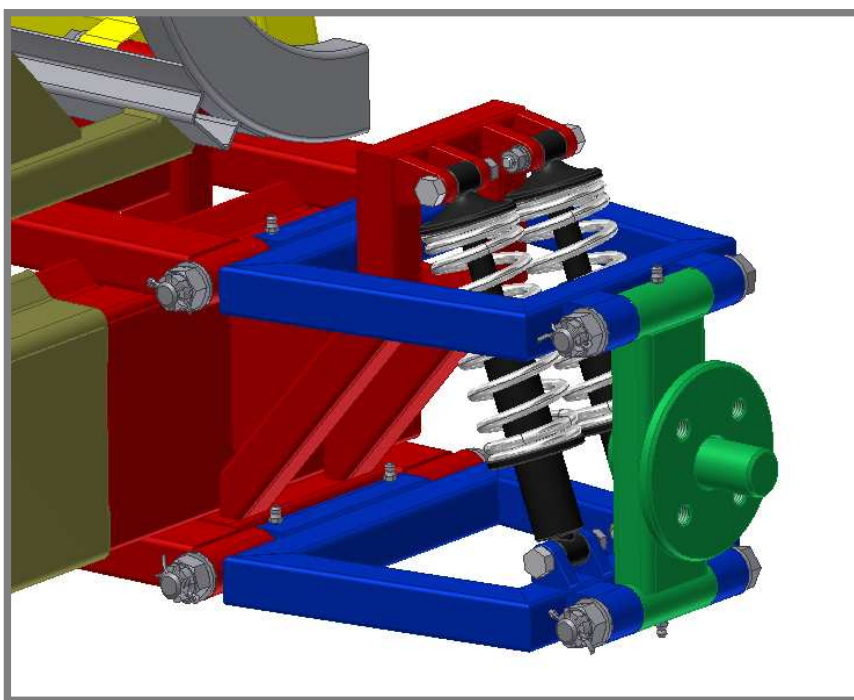
Nápravu tvoří dvě ramena spojená těhlicí, která umožňuje připojení nábojového elektromotoru (tato varianta vznikla ještě před zadáním požadavku na použití přední nápravy z vozu Trabant 601S, čímž bylo změněno i uložení pohonného elektromotoru do jejího pomocného rámu). Vzhledem k možnosti jen malého zástavbového prostoru pro tlumič, bylo v tomto případě rozhodnuto použít tlumiče motocyklového typu, které byly s ohledem na jejich menší únosnost použity ve zdvojené formě.

Výhody:

- Nenáročné na zástavbový prostor
- Nízká stavba celé nápravy

Nevýhody:

- Konstrukčně i stavebně náročné provedení
- Lichoběžíková náprava je náchylnější na neodpružené hmoty



Obr. 3-6 Konstrukční návrh vlastní zadní lichoběžníkové nápravy.

Varianta B: Zadní náprava z vozu Trabant 601S (viz obr. 3-7)

Výhody:

- Hotová zadní náprava, kterou stačí pouze zrenovovat
- Nízké náklady

Nevýhody:

- Větší prostorová náročnost na instalaci nápravy do rámu



Obr. 3-7 Konstrukční návrh využívající zadní nápravy z vozu Trabant 601S.

3.5 Výběr varianty řešení

3.5.1 Nosný rám výsuvné zadní nápravy

Bylo rozhodnuto použít pro vysouvání zadní nápravy řešení dle varianty B, tedy lineární kluzné vedení, které je vyrobené ze speciálně naohýbaných profilů. Varianta A v tomto případě byla zmíněna jen jako další možnost řešení pro případ, že by s variantou B nastaly při výrobě nějaké komplikace.

Pro pohon vysouvání zadní nápravy bylo rozhodnuto použít pojezdu přední nápravy (varianty C), neboť se jedná o nejjednodušší a nejspolehlivější řešení, které

nevyžaduje instalaci žádného dalšího přídavného zařízení. Při vytváření konstrukčního návrhu rámu však bude i nadále myšleno na možnost dodatečného připojení lineárního pohonu pro případ, že by s vysouváním dle varianty C nastaly nějaké potíže (příliš velký odpor při vysouvání nebo prokluz zabrzdné pneumatiky na nepevněném povrchu).

Krytování funkčních ploch kluzného vedení se u prvního prototypu bude řešit pomocí krycích měchů (varianta C), neboť je zde záruka, že pohyblivá část vedení bude dostatečně chráněna proti všem druhům nečistot.

Zajištění lineárního vedení ve výchozích polohách bude provedeno pomocí lineárního elektromagnetu původem ze startéru vozu Škoda 105 (varianta B).

3.5.2

3.5.2 Zadní náprava

Bylo rozhodnuto převzít rozvidlenou zadní nápravu z vozu Trabant (varianta B). Toto rozhodnutí je ovlivněno skutečností, že pro elektromobil z tohoto vozu byla použita přední náprava. Nově vyvíjená zadní náprava by se tak musela v mnohém přední nápravě přizpůsobit, což by znamenalo, že by se nemohly její výhody naplno využít.

4 VÝSLEDNÉ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

V této kapitole je podrobně popsáno zvolené konstrukční řešení nosného rámu výsuvné zadní nápravy elektromobilu, které bylo vybráno při volbě varianty řešení.

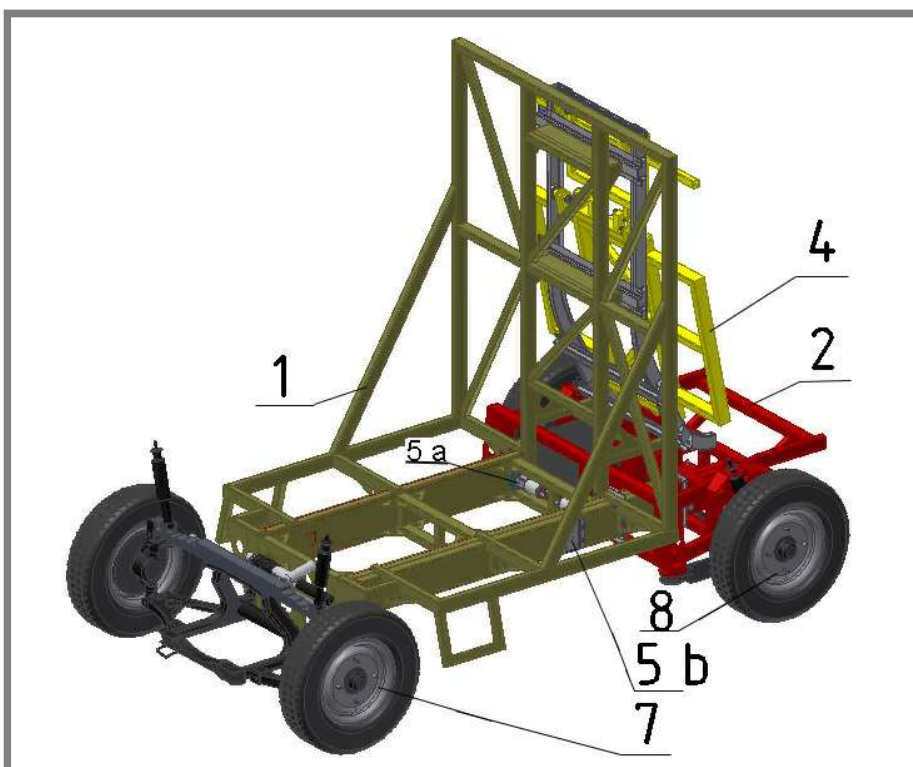
4.1 Dosažené základní technické údaje zvoleného řešení

Užitečná zátěž (dlouhá varianta):	2 osoby, 360kg nákladu
Užitečná zátěž (krátká varianta):	2 osoby, 240kg nákladu
Hmotnost prázdného elektromobilu (včetně 65kg baterií):	510 kg
Hmotnost plně naloženého elektromobilu:	1040kg
Rozvor náprav (krátká/dlouhá varianta):	1832/2727 mm
Světlá výška (normální zatížení):	155mm
Rozchod kol vpředu:	1206mm
Rozchod kol vzadu:	1255mm
Povolené zatížení přední nápravy:	460kg
Povolené zatížení zadní nápravy:	580kg

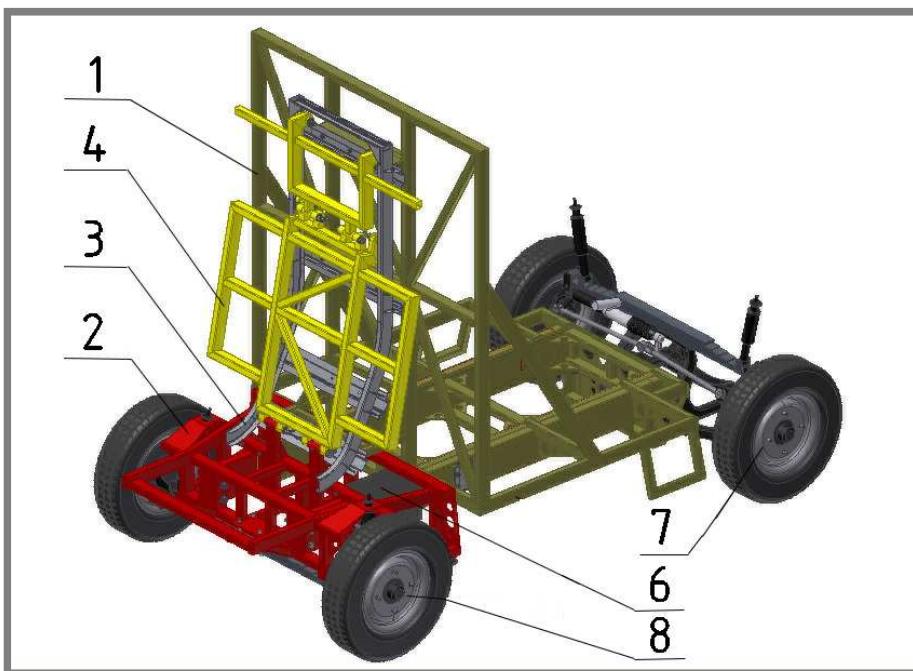
4.1.1 Rozmístění a základní popis jednotlivých komponentů nosného rámu

Na následujících dvou obrázcích (obr. 4-1 a obr. 4-2) je zobrazen pohled na celou konstrukci. Jednotlivé konstrukční celky jsou v následujících podkapitolách detailně popsány.

1. Pevná část rámu
2. Pohyblivá část rámu
3. Vodicí lišta
4. Rám korby
- 5 a. Zajišťovací zařízení provozní
- 5 b. Zajišťovací zařízení montážní
6. Zakrytování pohyblivých částí vedení
7. Přední náprava Trabant 601
8. Zadní náprava Trabant 601



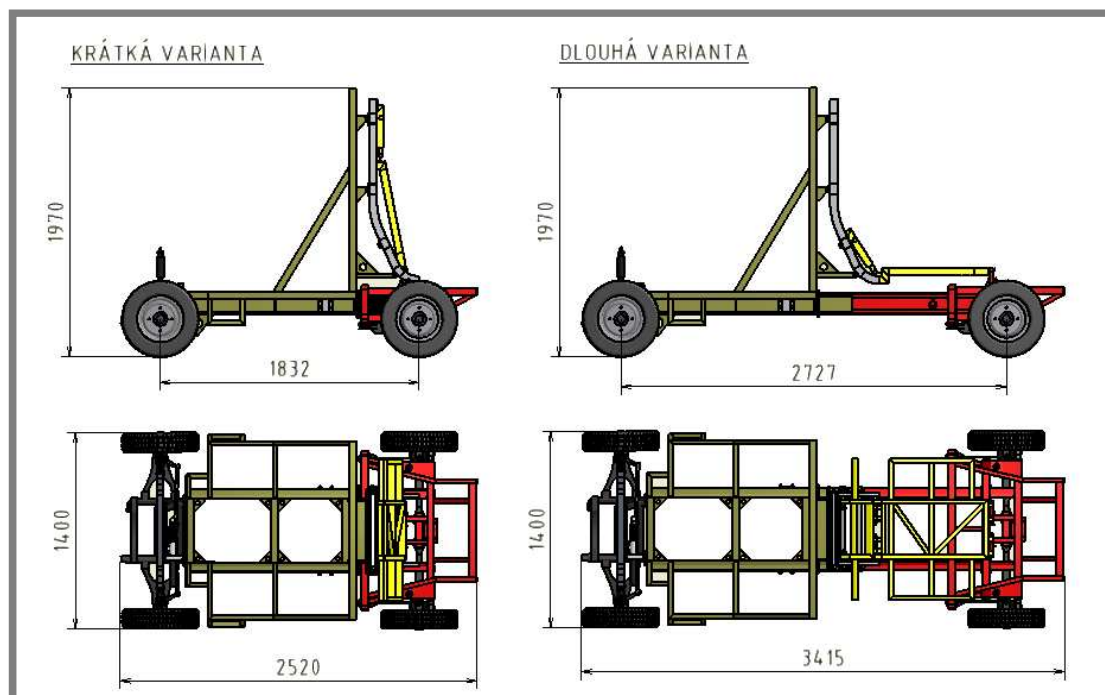
Obr. 4-1 Celkový pohled na nosný rám elektromobilu – zepředu.



Obr. 4-2 Celkový pohled na nosný rám elektromobilu – zezadu.

4.1.2 Hlavní rozměry podvozku elektromobilu

Na obr. 4-3 jsou zobrazeny všechny hlavní rozměry podvozku elektromobilu, jehož součástí je v této práci navrhovaný nosný rám výsuvné zadní nápravy.



Obr. 4-3 Hlavní rozměry podvozku elektromobilu – krátká / dlouhá varianta.

4.2 Princip vysouvání zadní nápravy elektromobilu

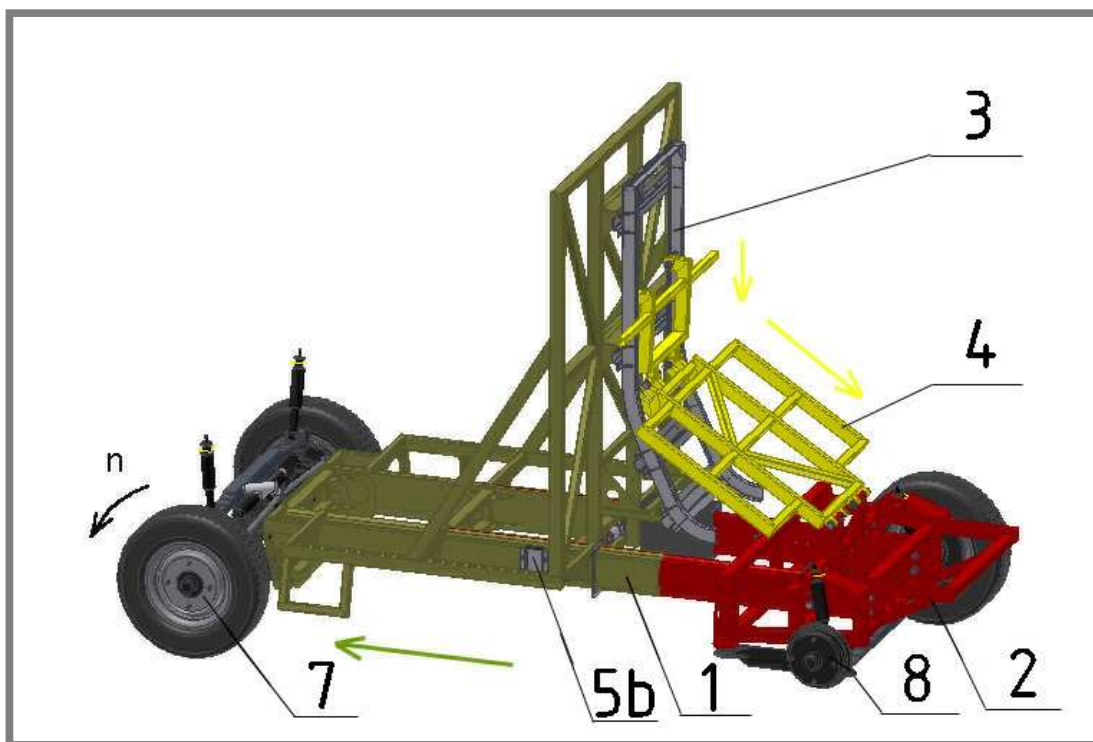
Při výběru variant řešení byla pro nosný rám výsuvné zadní nápravy vybrána varianta vysouvání zadní nápravy, která spočívá v pojezdu předních kol elektromobilu, které budou poháněny hnacím motorem. Největší výhodou tohoto řešení je, že není zapotřebí instalace žádného přídatného pohonného zařízení. Je tedy potřeba pouze rozšířit naprogramování řídicí jednotky pohonu elektromobilu o specifický režim pomalé jízdy zajišťující bezpečné vysunutí zadní nápravy. Hmotnost elektromobilu v tomto případě nebude navýšena. Diplomová práce obsahuje mechanickou část tohoto řešení, elektronickou část ovládání vysouvání si bude zadavatel řešit sám.

Popis vysunutí / zasunutí zadní nápravy (viz obr. 4-4):

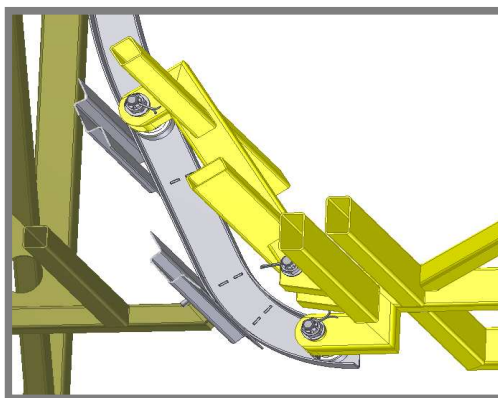
Prvním úkonem před samotným spuštěním režimu vysouvání zadní nápravy je provedení zajištění zadní nápravy proti pohybu. To se učiní zatažením za ruční brzdu. Poté se musí zařadit první rychlostní stupeň (nebo zpětný chod), a spustit poloautomatický režim vysouvání.

Řídicí jednotka provede elektromagneticky odjištění provozního zajištění lineárního vedení, které za normálních okolností brání kluznému vedení ve vzájemném pohybu. Uvede se do chodu hlavní pohonný elektromotor, který pohání kola přední nápravy. Tím, že jsou kola zadní nápravy zablokována (poz.8) a pření jsou naopak poháněna (poz.7), je zajištěno, že se zadní náprava postupně vysune. Souběžně s vysouváním zadní nápravy se sklápí do vodorovné polohy i rám korby určený pro užitečnou zátěž

(poz.4). Tento rám je k pohyblivé části připevněn otočně a vzhledem k pevné části rámu se volně pohybuje na vodících kladkách odvalujících se ve vodících kolejničkách (poz.3). Jakmile se zadní náprava vysune do předem definované polohy, koncový spínač to zaznamená a řídicí jednotka pohonný elektromotor zablokuje pomocí režimu elektromagnetické brzdy. Tak je zabezpečeno, že se kluzné profily nemohou vůči sobě pohybovat. Provozní zajišťování (poz.5.a) se nyní nachází v poloze proti vodícímu kameni a řídicí jednotka provede opětovné uzamčení polohy. Jakmile dojde k zajištění, je tento jev detekován a je umožněno uvést vozidlo do režimu určeného k jízdě. Posledním úkonem, který musí obsluha provést, je opětovné odbrzdění zadní nápravy. Poté je elektromobil připraven k běžnému provozu – jízdě.



Obr. 4-4 Princip vysouvání zadní nápravy se současným sklápěním rámu korby. (Číslování komponent odpovídá popiskům v kapitole 4.1.1)



Obr. 4-5 Odvalující se vodící kladky.

4.3 Jednotlivé konstrukční uzly

4.3.1 Kluzné vedení

Konstrukce zajišťující vysunutí zadní nápravy o stanovenou hodnotu byla na požadavek zadavatele vytvořena ze speciálních profilů. Tyto profily byly naohýbány z plechových polotovarů za pomoci ohraňovacího lisu a vytváří kluzné vedení. Specifický tvar těchto profilů (viz obr. 4-6) vznikl ze snahy o vytvoření průřezu, který by oproti klasickému obdélníkovému zajistil přesnější vedení a vyšší tuhost (viz porovnání).

Porovnání kvadratických momentů obdélníkového a speciálního průřezu:

Jelikož speciální profil zjednodušeně vychází z průřezu obdélníkového tvaru, lze jej s takovýmto profilem porovnat:

Kvadratický moment profilu obdélníkového průřezu 130x60x2,5:

$$J_x = \frac{BH^3}{12} - \frac{bh^3}{12} = \frac{60\text{mm} \cdot 130\text{mm}^3}{12} - \frac{55\text{mm} \cdot 125\text{mm}^3}{12} = 2\,033\,178\text{ mm}^4$$

Kvadratický moment speciálního průřezu o základním tvaru 130x60x2,5:

$$J_x = 2\,516\,159\text{ mm}^4 \quad (\text{platí pro již uzavřený profil})$$

Tato hodnota byla zjištěna pomocí programu Autodesk Inventor 2010 [15].

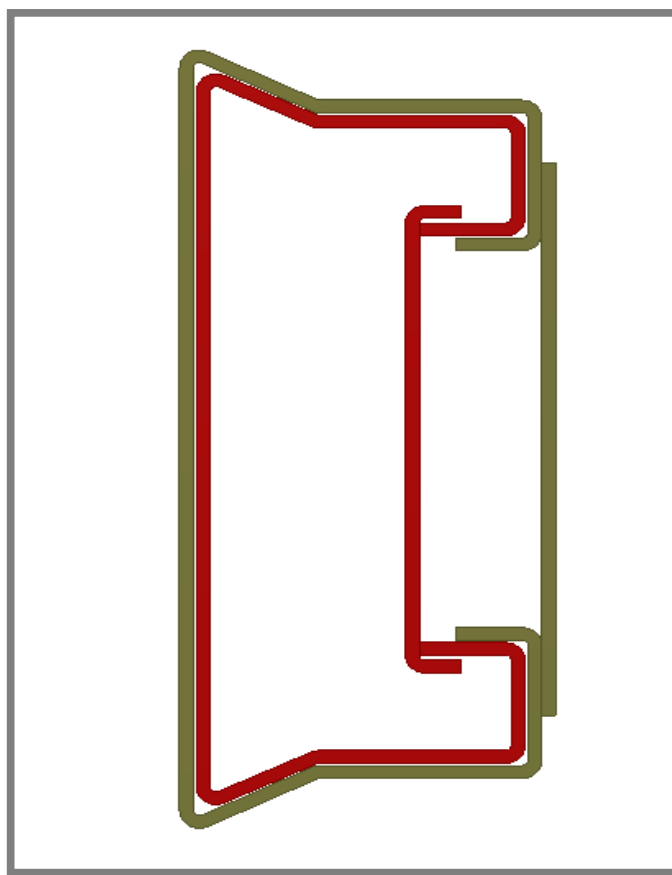
Z výpočtů je patrné, že použití speciálního profilu je opodstatněné i z hlediska mechanické odolnosti, neboť kvadratický moment je v tomto případě oproti klasickému obdélníkovému průřezu vyšší.

Konstrukční řešení kluzného vedení:

Konstrukce navrženého speciálního profilu, který je vyroben ohýbáním plechového polotovaru na ohraňovacím lisu má i několik možných komplikací (viz kapitola 2.1.1.2), které musely být řešeny:

Tuhost otevřeného profilu:

Technologie výroby na ohraňovacím lisu umožňuje výrobu pouze otevřených profilů, proto bylo z důvodu potřebné tuhosti nutné vymyslet pozdější uzavření. To bylo vyřešeno tak, že jsou na profil po celé jeho délce přivařeny uzavírací plechové pláty. Na obr. 4-6 je zobrazen řez sestavou kluzného vedení, na němž je uzavření na vnějším i vnitřním vedení vidět.



Obr. 4-6 Řez kluzným vedením. Zeleně pevná část rámu, červeně pohyblivá část rámu.

Zamezení přístupu nečistotám:

Tato problematika je samostatně řešena v kapitole 4.3.7 Zakrytování pohyblivých částí vedení.

Snížení součinitele tření a zvýšení otěruvzdornosti:

Je předmětem dalšího zkoumání, neboť konstrukční kancelář Termobit zadala požadavek na použití tohoto způsobu vysouvání zadní nápravy, aby v budoucnu na tomto vedení mohla testovat technologie vytváření kluzných povrchů plazmovou nitrací a depozicí tenkých vrstev.

Výroba kluzného vedení:

Kluzné vedení je vyrobeno z plechu ohýbáním na CNC ohraňovacím lisu. Při vytváření vlastního návrhu průběžně probíhala spolupráce s budoucím výrobcem – firmou Kovo-plazma. Tato firma se podílela na návrhu po technologické stránce, neboť bylo potřeba zajistit, aby byl finální návrh vedení výrobitelný na ohraňovacích lisech, jimiž disponuje. Po konzultaci s výše zmíněným dodavatelem byla zvolena vůle ve vedení, která činí minimálně 0,5mm. Výroba vedení byla ztížena tím, že bylo potřeba ohýbat profil z polotovaru, který měl již na sobě dopředu vypáleny otvory různého tvaru. Tyto otvory jsou důležité pro další kompletaci nosného rámu a bylo nutné dodržet přesně jejich polohu.

Volba materiálu, ze kterého bude vedení vyrobeno, je závislá na dvou hlavních parametrech. Z konstrukčního hlediska použitý materiál musí odpovídat požadavkům na mechanickou odolnost (viz kapitola 4.4 MKP analýza), současně ale musí být použitý materiál vhodný i k plazmové nitridaci a depozici tenkých vrstev. V průběhu vývoje prototypu se předpokládá použití více druhů materiálu. Vzhledem k tomu, že materiály vhodné pro plazmovou nitridaci jsou drahé a běžně nedostupné, předpokládá se, že první vzorek bude vyroben z běžného plechu S355 aniž by byl ošetřen plazmovou nitridací nebo depozicí tenkých vrstev. Po ověření přesnosti vyrobeného vedení a vhodnosti samotné funkce vysouvání se použije materiál vhodný už i pro plazmovou nitridaci (např. 17022). V tomto případě bude muset být pro svařování konstrukce užito tzv. „přechodových“ elektrod.

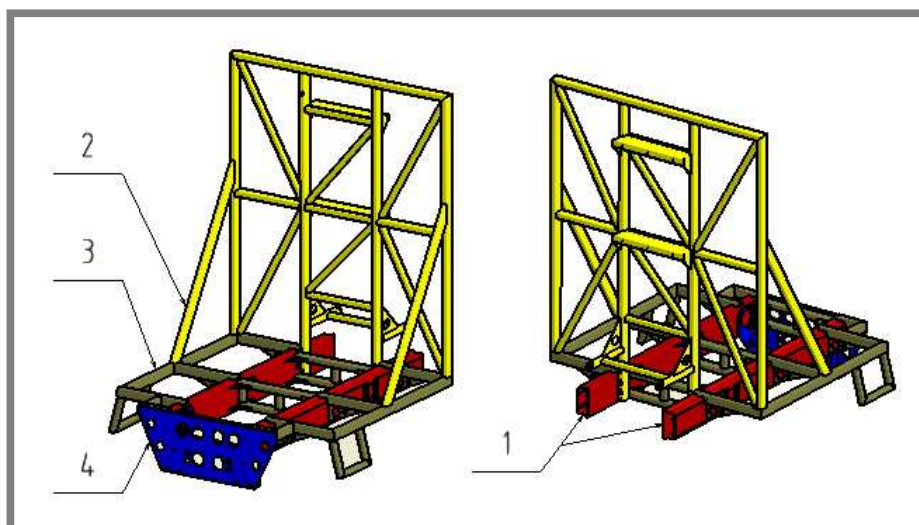
4.3.2 Pevná část rámu (viz obr. 4-7)

Nosný rám elektromobilu je konstruován ze dvou polovin, jedna je navržena jako pevná a druhá jako pohyblivá. Vzájemný pohyb těchto polovin rámu zajišťuje změnu rozvoru přední a zadní nápravy.

Základ svarku pevné části rámu je tvořen dvěma podélnými nosníky (poz.1), které slouží i jako vnější kluzné vedení. Tyto nosníky jsou příčně vyztuženy pomocí žebér svařených z obdélníkových profilů. Takto vytvořený základ pevné části rámu musí být před svařením přesně ustaven za pomoci přípravků, protože je pro funkci vysouvání zadní nápravy důležité, aby podélné nosníky byly přivařeny ke zbytku konstrukce rovnoběžně. Jen tak lze zajistit, že při budoucím vysouvání zadní nápravy nebude docházet k příčení či zadrhávání.

Na tuto základní část je na přední straně přivařeno čelní příčné žebro (poz.4) s výztuhami (vše výpalky z 4mm plechu), ke kterému bude připevněn přední pomocný rám s nápravou z Trabantu.

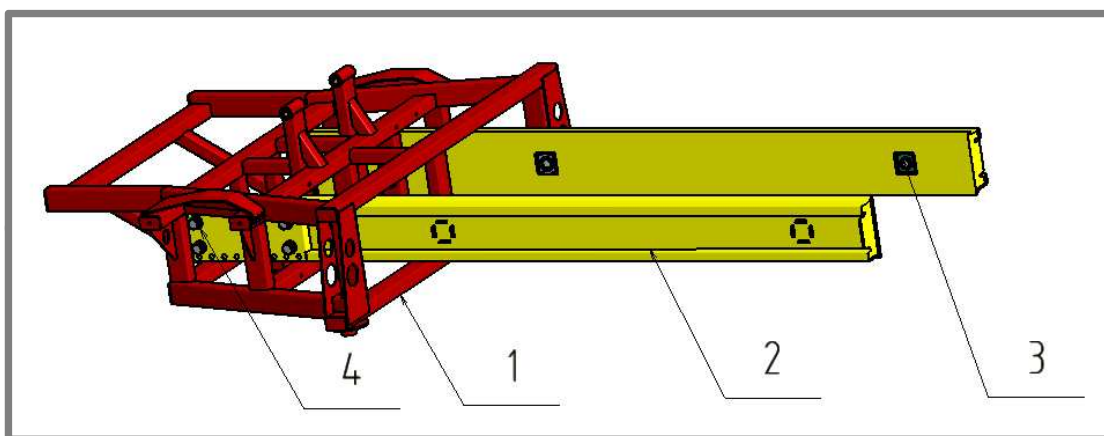
Na závěr je přivařena i podlaha (poz. 3) a svislá stěna umístěná za sedadly řidiče a spolujezdce (poz. 2), která má sloužit k ochraně osob při případném převrnutí vozidla a jako nosná část vodící kolejnice, po které se bude pohybovat rám korby.



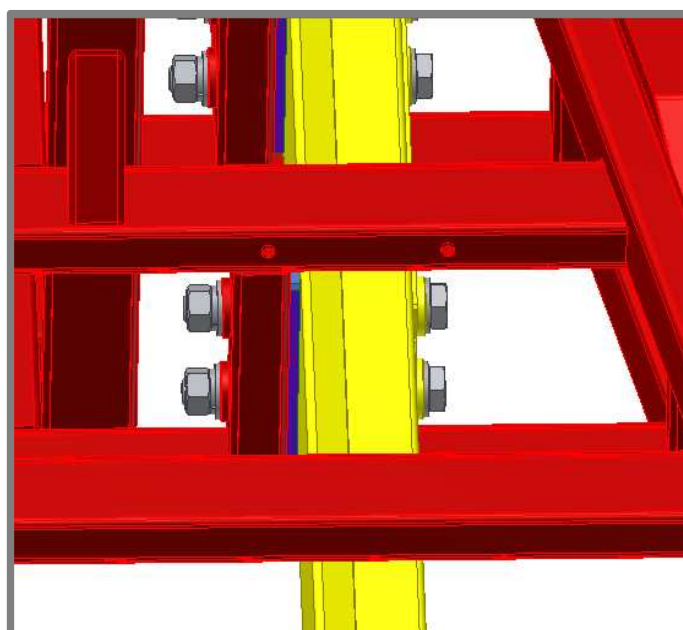
Obr. 4-7 Pevná část rámu.

4.3.3 Pohyblivá část rámu (viz obr.4-8)

Základ tvoří rám pohyblivé části (poz.1), který je svařen z profilů obdélníkového a čtvercového průřezu. Tento rám umožňuje připojení pohyblivého rámu korby, vnitřních kluzných profilů (poz.2) a zároveň jsou k němu připojeny i obě zadní polonápravy z vozu Trabant. Dva kusy vnitřního profilu (poz.2) jsou k rámu pohyblivé části připevněny pomocí 8ks pevnostních šroubů M14x130 (poz.4, viz obr. 4-9). Mezi vnitřní kluzné vedení pohyblivé části rámu jsou ještě vloženy distanční podložky (zobrazeny modře na obr. 4-9), které jsou použity ze dvou důvodů. Prvním důvodem je, že použití distanční podložky umožní při kompletaci pohyblivé části rámu s pevnou částí rámu seřízení vůle v obou vedeních tak, aby nemohlo docházet k přičení rámu. Druhý důvod použití distančních podložek je, že umožní lepší roznesení síly od předepjatých šroubů.



Obr. 4-8 Pohyblivá část rámu. (1 rám pohyblivé části, 2 vnitřní profil, 3 vodící kámen, 4 šroub 8xM14)

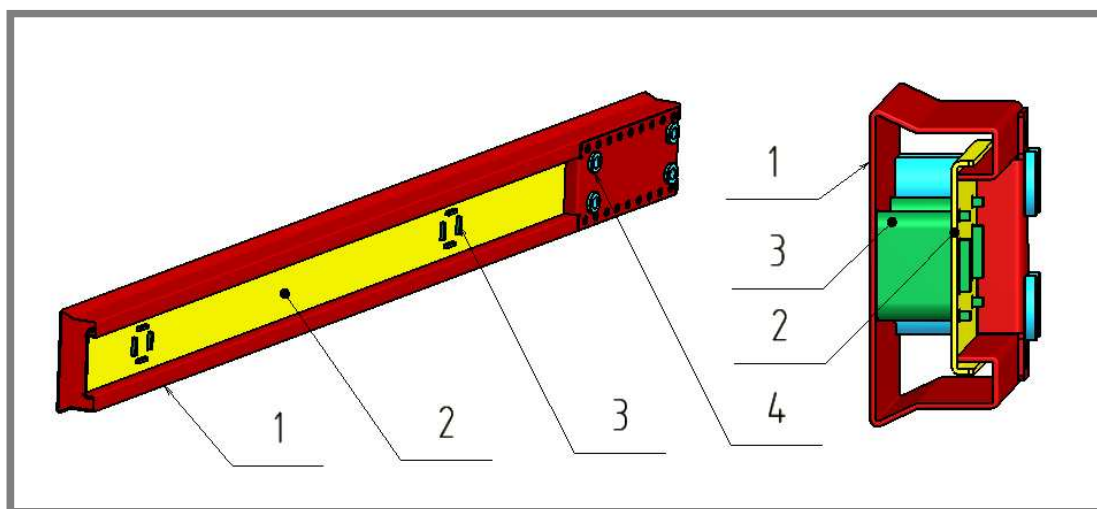


Obr. 4-9 Upevnění vnitřního profilu šrouby M14x130 (12.9).

4.3.3.1 Vnitřní profil – konstrukční návrh

Základním stavebním prvkem pro výrobu svarku vnitřního profilu (viz obr. 4-10) je otevřené kluzné vedení (poz.1), které vyrobila firma Kovo-plazma (viz obr. 2-1). Protože bylo potřeba zajistit tuhost, bylo toto otevřené vedení uzavřeno pomocí přivařených plechových plátů totožné tloušťky (poz.2), z čehož následně vznikl základní profil. Dále byly zaslepeny čela profilu. Přední čelo je opatřeno výstupkem, který slouží jako zarážka pro montážní zajišťovací zařízení.

Do takto připraveného vnitřního profilu byly v zadní části vyvrtány otvory, do nichž se přivařily výztuhy pro upevňovací šrouby (poz.4). V konečné fázi byl tento profil ještě doplněn o domky vodičích kamenů (poz.3), které budou zajišťovat spojení mezi pevnou a pohyblivou částí rámu elektromobilu.



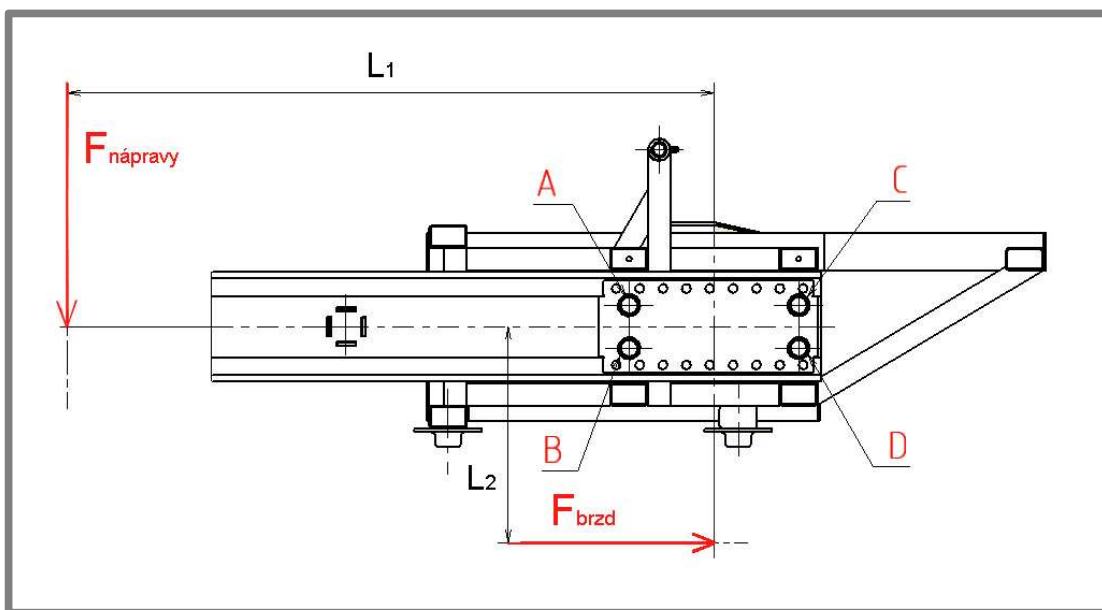
Obr. 4-10 Vnitřní profil.

4.3.3.2 Vnitřní profil – výpočet upevňovacích šroubů

Vzhledem k tomu, že je potřeba při sestavování rámu elektromobilu provést seřízení pohyblivé části vůči pevné části rámu, jsou vnitřní profily připevněny přes distanční podložky pomocí šroubů M14x130. Následující výpočet je zaměřený na stanovení potřebného utahovacího momentu a bezpečnost spoje.

Předpokládané zatížení spoje

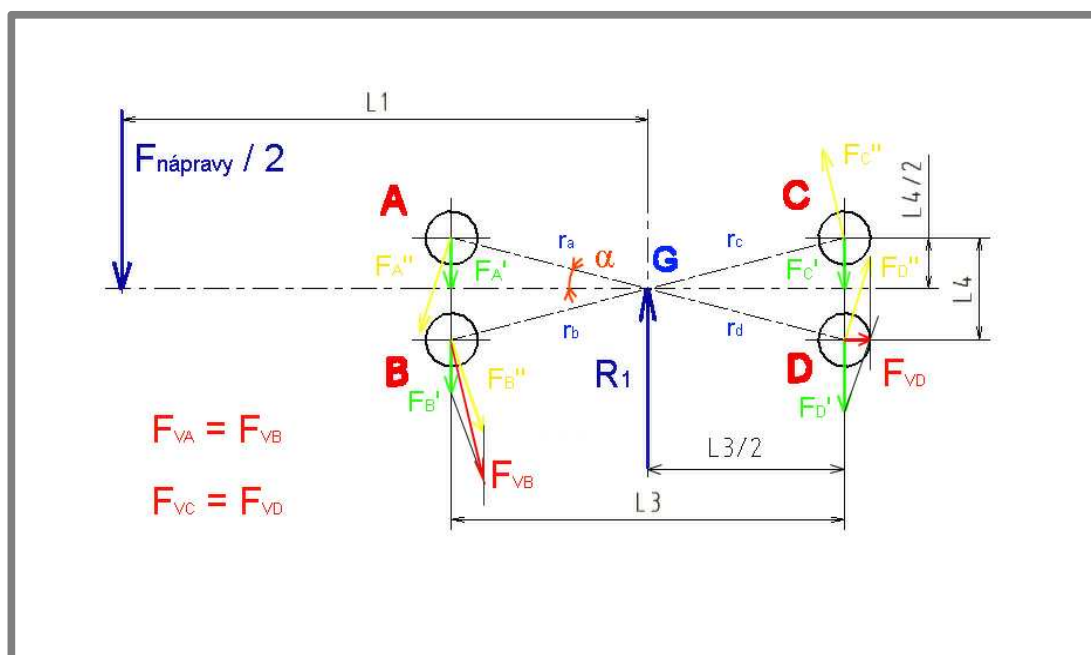
Výpočet šroubového spoje je soustředěn na stanovení zatížení při nejméně příznivé situaci, která může nastat, tedy na situaci, kdy bude mít elektromobil zadní nápravu vysunutou, bude plně naložen nákladem a bude brzdit (viz obr. 4-11).



Obr. 4-11 Schema zatížení upevňovacích šroubů (A-D).

Výpočet zatížení šroubového spoje od vlastní hmotnosti elektromobilu

Z příručky k vozu trabant [1] a dle polohy těžiště elektromobilu zjištěné pomocí programu Autodesk Inventor 2010 bylo stanoveno maximální možné zatížení zadní nápravy. Vzdálenost L_1 , na které toto zatížení působí, je dána rozdílem poloh těžiště elektromobilu a těžiště šroubového spoje (G). Poněvadž je šroubový spoj počítán pro jeden vnitřní kluzný profil, je ve výpočtu počítáno s poloviční hodnotou zatížení (viz obr. 4-12). Celý následující výpočet je proveden dle knihy Konstruování strojních součástí [2].



Obr. 4-12 Schema zatížení upevňovacích šroubů (A-D) od hmotnosti elektromobilu.

Potřebné hodnoty pro kontrolní výpočet šroubového spoje od hmotnosti vozu

Zatížení zadní nápravy $F_{\text{nápravy}}$:	6000N
Reakce od zatížení nápravy $R_1 = F_{\text{nápravy}} / 2$:	3000N
Vzdálenost L_1 :	1038mm
Vzdálenost L_3 :	225mm
Vzdálenost L_4 :	61mm

Moment působící na šroubový spoj

$$M = \frac{F_{\text{nápravy}}}{2} \cdot L_1 = 3000\text{N} \cdot 1,038\text{m} = 3114\text{Nm}$$

Vzdálenost od těžiště šroubů G ke středu každého šroubu

$$r_a = \sqrt{\left(\frac{L_3}{2}\right)^2 + \left(\frac{L_4}{2}\right)^2} = \sqrt{112,5\text{mm}^2 + 30,5\text{mm}^2} = 116,5\text{mm}$$

Jelikož jsou šrouby rozmístěny symetricky, platí: $r_a = r_b = r_c = r_d$

Zatížení každého šroubu od příčné síly působící kolmo k jeho ose

$$F'_a = \frac{R_1}{i} = \frac{3000\text{N}}{4} = 750\text{N}$$

Jelikož jsou šrouby rozmístěny symetricky, platí: $F'_a = F'_b = F'_c = F'_d$

Zatížení každého šroubu od momentu

$$F''_a = \frac{Mr_a}{4r_a^2} = \frac{M}{4r_a} = \frac{3114000\text{ Nmm}}{4 \cdot 116,5\text{ mm}} = 6920\text{N}$$

Jelikož jsou šrouby rozmístěny symetricky, platí: $F''_a = F''_b = F''_c = F''_d$

Výpočet úhlu α (viz obr. 4-12)

$$\alpha = \text{tg} \left(\frac{\frac{L_4}{2}}{\frac{L_3}{2}} \right) = \text{tg} \left(\frac{30,5}{112,5} \right) = 15,17^\circ$$

Výpočet celkové síly zatěžující šroubový spoj od hmotnosti elektromobilu

Rozbor sil viz obr. 4-13. Výpočet je proveden pomocí kosinovy věty. Jak je ze schema na obr. 4-12 patrné, pro hodnoty výsledné síly působící na šroub platí: $F_{va} = F_{vb}$, $F_{vc} = F_{vd}$, proto bude vždy vypočítána jen jedna z těchto sil.

$$F_{va}^2 = F_{a'}^2 + F_{a''}^2 - 2 \cdot F_{a'} \cdot F_{a''} \cdot \cos \beta$$

$$F_{va}^2 = 750N^2 + 6920N^2 - 2 \cdot 750N \cdot 6920N \cdot \cos (180 - 15,17)^\circ$$

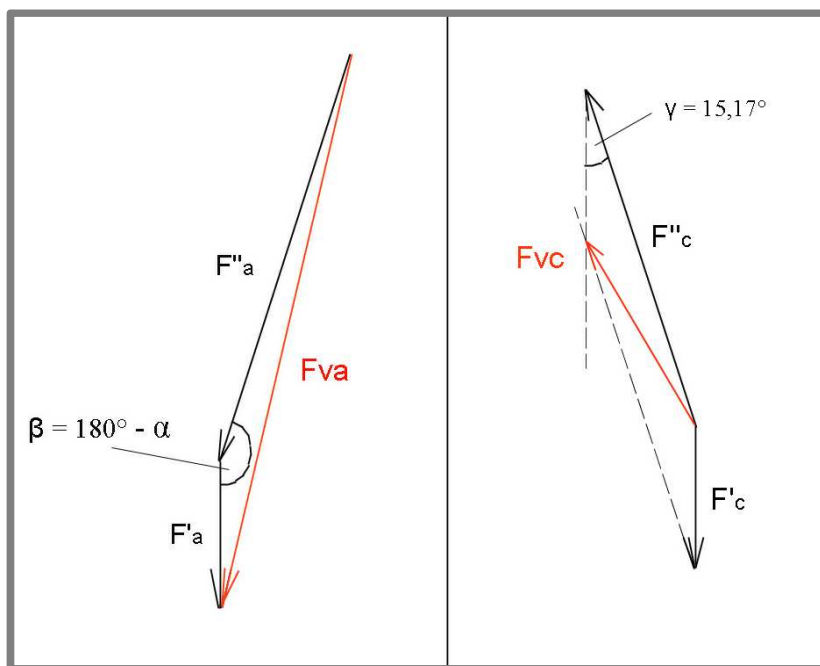
$$F_{va} = F_{vb} = 7645N \dots \text{pro další výpočet } F_{zn} \text{ (síla od zatížení zadní nápravy)}$$

$$F_{vc}^2 = F_{c'}^2 + F_{c''}^2 - 2 \cdot F_{c'} \cdot F_{c''} \cdot \cos \gamma$$

$$F_{vc}^2 = 750N^2 + 6920N^2 - 2 \cdot 750N \cdot 6920N \cdot \cos 15,17^\circ$$

$$F_{vc} = F_{vd} = 6199N$$

Jak je z následujících výpočtů patrné, nejvíce namáhanými šrouby od zatížení vlastní hmotností elektromobilu jsou šroub A a B. Směr zatěžující síly je kolmo na osu šroubu.



Obr. 4-13 Výpočet sil F_{va} , F_{vc}

Výpočet zatížení šroubového spoje od brzdného účinku

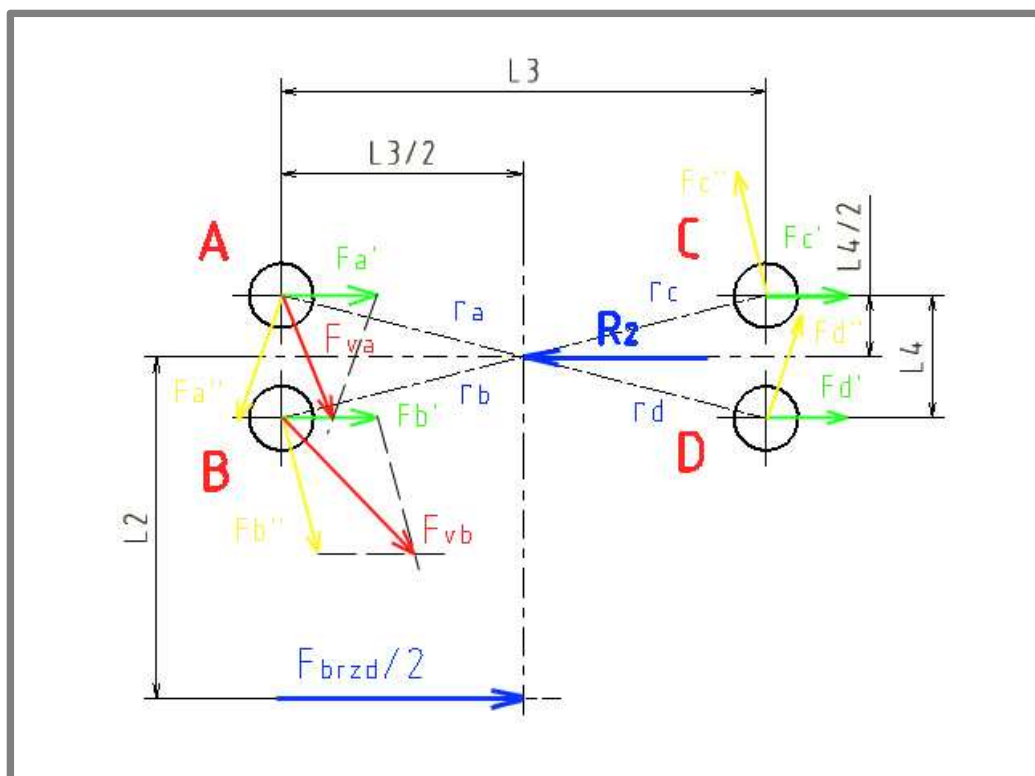
Pro výpočet zatížení šroubového spoje od brzdného účinku je nejdůležitější hodnotou síla F_b , která je vyvolaná zpomalením při brždění (viz kapitola 4.3.6.1). Tato síla působí na šroubový spoj na rameni L_2 . Vzdálenost L_2 je dána rozdílem poloh těžiště šroubového spoje (G) a vozovky, které se dotýká zadní kolo. Poněvadž je šroubový spoj počítán pro jeden vnitřní kluzný profil, je ve výpočtu počítáno s poloviční hodnotou zatížení, tedy s $F_{brzd} / 2$ (viz obr. 4-14).

Jelikož se předpokládá, že brzdný účinek přední a zadní nápravy vozu bude přibližně stejný, je zatížení zadní nápravy od brzdného účinku rovno polovině celkové hodnoty (tj. $F_b/2$).

$$F_{brzd} = \frac{F_b}{2} = \frac{8008N}{2} = 4004N$$

Potřebné hodnoty pro kontrolní výpočet šroubového spoje od brzdného účinku

Reakce od zpomalení vozu F_{brzd} :	4004N
Reakce od zatížení nápravy $R_2 = F_{brzd} / 2$:	2002N
Vzdálenost L2:	445mm
Vzdálenost L3:	225mm
Vzdálenost L4:	61mm



Obr. 4-14 Schema zatížení upevňovacích šroubů (A-D) od brzd.

Moment působící na šroubový spoj

$$M_b = \frac{F_{\text{brzd}}}{2} \cdot L_2 = 2002\text{N} \cdot 0,445\text{m} = 891\text{Nm}$$

Vzdálenost od těžiště šroubů (G) ke středu každého šroubu

$r_a = 116,5\text{mm}$shodné s výpočtem zatížení od vlastní hmotnosti
Jelikož jsou šrouby rozmístěny symetricky, platí: $r_a = r_b = r_c = r_d$

Zatížení každého šroubu od příčné síly působící kolmo k jeho ose

$$F'_a = \frac{R_2}{i} = \frac{2002\text{N}}{4} \cong 501\text{N}$$

Jelikož jsou šrouby rozmístěny symetricky, platí: $F'_a = F'_b = F'_c = F'_d$

Zatížení každého šroubu od momentu

$$F''_a = \frac{M_b r_a}{4 r_a^2} = \frac{M_b}{4 r_a} = \frac{891000\text{ Nmm}}{4 \cdot 116,5\text{ mm}} = 1912\text{N}$$

Jelikož jsou šrouby rozmístěny symetricky, platí: $F''_a = F''_b = F''_c = F''_d$

Výpočet úhlu α (viz obr. 4-12)

$\alpha = 15,17^\circ$ shodné s výpočtem zatížení od vlastní hmotnosti

Výpočet celkové síly zatěžující šroubový spoj od účinnosti brzd

Rozbor sil viz obr. 4-15. Výpočet je proveden pomocí kosinovy věty. Jak je ze schema na obr. 4-14 patrné, pro hodnoty výsledné síly působící na šroub platí: $F_{va} = F_{vc}$, $F_{vb} = F_{vd}$, proto bude vždy vypočítána jen jedna z těchto sil.

$$F_{va}^2 = F_{a'}^2 + F_{a''}^2 - 2 \cdot F_{a'} \cdot F_{a''} \cdot \cos \delta$$

$$F_{va}^2 = 501^2\text{N} + 1912^2\text{N} - 2 \cdot 501\text{N} \cdot 1912\text{N} \cdot \cos 74,83^\circ$$

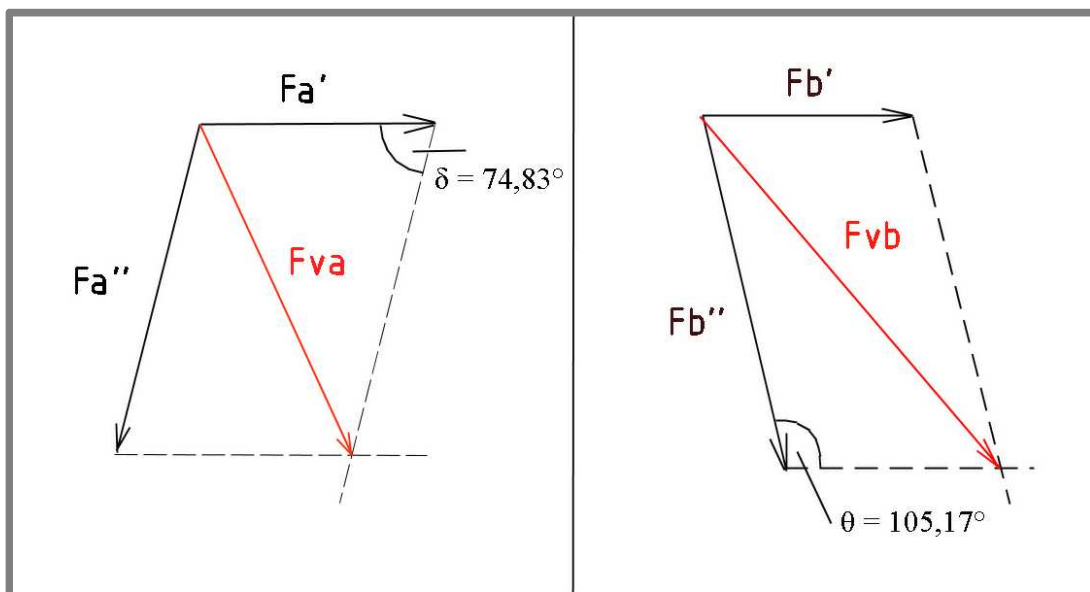
$$F_{va} = 1845\text{N}$$

$$F_{vb}^2 = F_{b'}^2 + F_{b''}^2 - 2 \cdot F_{b'} \cdot F_{b''} \cdot \cos \theta$$

$$F_{vb}^2 = 501^2\text{N} + 1912^2\text{N} - 2 \cdot 501\text{N} \cdot 1912\text{N} \cdot \cos 105,17^\circ$$

$$F_{vb} = 2100\text{N} \dots \text{pro další výpočet } F_{zb} \text{ (síla od zadních brzd)}$$

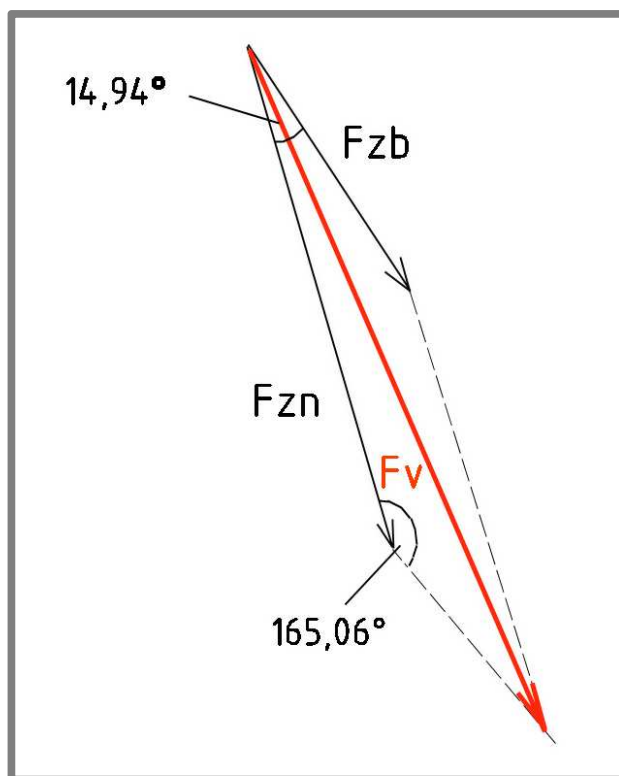
Nejvíce namáhanými šrouby od brzdného účinku elektromobilu jsou šroub B a D. Směr zatěžující síly je kolmo na osu šroubu.



Obr. 4-15 Výpočet sil F_{va} , F_{vb} .

Výpočet celkového zatížení šroubového spoje od hmotnosti vozidla i brzd

Jako nejvíce zatěžovaný šroub byl v obou případech shledán šroub s označením B, proto bude dále počítáno pouze s tímto šroubem.



Obr. 4-16 Výpočet celkové síly na šroubu B.

Sečtení zatížení od hmotnosti vozidla a brzdného účinku pro šroub B
 Výpočet opět pomocí kosinové věty schema viz obr 4-16.

$$F_v^2 = F_{zn}^2 + F_{zb}^2 - 2 \cdot F_{zn} \cdot F_{zb} \cdot \cos \chi$$

$$F_v^2 = 7645^2 N \cdot 2100^2 N - 2 \cdot 7645 N \cdot 2100 N \cdot \cos 165,06^\circ$$

$F_v \cong 9690 N$celková síla zatěžující šroub B kolmo na jeho osu.

Kontrola navrženého šroubového spoje

Výpočet je již upraven pro kontrolu pouze jednoho šroubu (dohromady je použito 2x4ks šroubů).

Údaje potřebné pro kontrolní výpočet šroubu M14x130

Třída pevnosti	12.9
d_2 střední průměr závitu	12,701 mm
d_3 malý průměr závitu	11,546 mm
A_s výpočtový průřez šroubu	115 mm ²
$P=Ph$ stoupání šroubu	2 mm
f_s součinitel tření (pískovaná plocha)	0,5
f_0 součinitel tření pod hlavou šroubu	0,15
f součinitel tření v závitech	0,2
k_n návrhový součinitel	1,5
S rozměr na klíč	21 mm
H výška základního trojúhelníku	1,732mm
m výška matice	12,8 mm

Potřebná síla předpětí šroubu

$$F_i = \frac{k_n F}{f_s} = \frac{1,5 \cdot 9690 N}{0,5} = 29070 N$$

Střední průměr mezikružové dosedací plochy pod hlavou šroubu

$$d_0 = \frac{S + d_h}{2} = \frac{21 mm + 15,5 mm}{2} = 18,25 mm$$

Výpočet potřebného utahovacího momentu

$$M = M_z + M_o = \frac{F_i d_2}{2} \left[\frac{P_h + \pi f d_2 \sec(\alpha/2)}{\pi d_2 - f P_h \sec(\alpha/2)} \right] + \frac{F_i f_0 d_0}{2}$$

$$M = \frac{29070 \cdot 12,701}{2} \left[\frac{2 + \pi \cdot 0,2 \cdot 12,701 \cdot 1,1547}{\pi \cdot 12,701 - 0,2 \cdot 2 \cdot 1,1547} \right] + \frac{29070 \cdot 0,15 \cdot 18,25}{2}$$

$$M = 52496Nmm + 39789Nmm \cong 92,3Nm$$

Napětí od síly předpětí

$$\sigma_i = \frac{F_i}{A_S} = \frac{29070N}{115mm^2} = 253MPa$$

Smykové napětí ve šroubu (počítáno z části momentu M_z)

$$\tau = \frac{16 M_z}{\pi d_3^3} = \frac{16 \cdot 52496Nmm}{\pi \cdot 11,546^3mm} = 174MPa$$

Redukované napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_i^2 + 3\tau^2} = \sqrt{253MPa^2 + 3 \cdot 174MPa^2} = 394MPa$$

Součinitel bezpečnosti vůči mezi pružnosti

Pro třídu pevnosti 12.9 je $R_{p0,2} = 1080Mpa$.

$$k_k = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{red}} = \frac{1080MPa}{394MPa} = 2,74$$

Kontrola tlaku v závitech

Malý průměr závitu matice

$$D_1 = d - \frac{10}{8}H = 14mm - \frac{5}{4} \cdot 1,732mm = 11,835mm$$

Počet aktivních závitů

$$n_z = \frac{m}{P} = \frac{12,8mm}{2mm} \cong 6$$

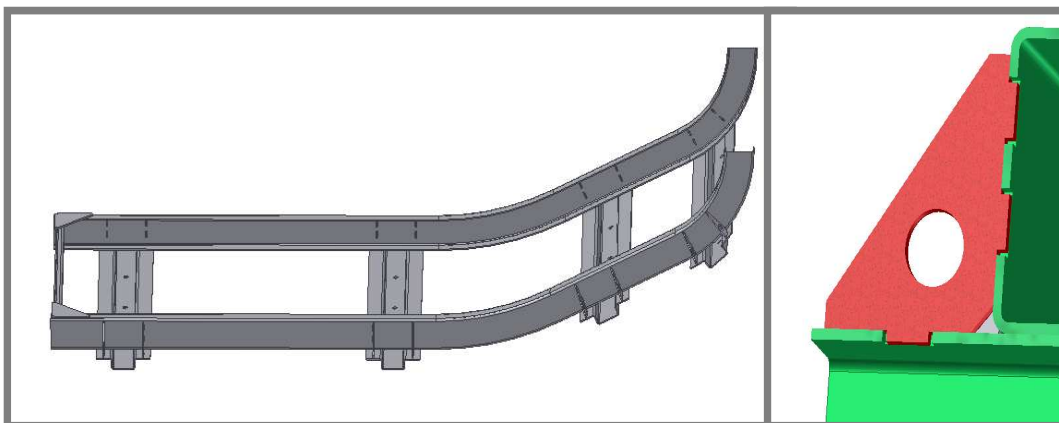
Tlak v závitech za předpokladu rovnoměrného rozložení

$$p = \frac{F_i}{n_z \frac{\pi}{4}(d^2 - D_1^2)} = \frac{29070N}{6 \cdot \frac{\pi}{4}(14^2mm - 11,835^2mm)} = 110MPa$$

Jelikož pro matici třídy pevnosti 12 je povolené zatížení na tlak v závitech až 250Mpa [2], zvolená varianta vyhovuje.

4.3.4 Vodící kolejnička

Vodící kolejnička (viz obr. 4-17) je určena k zabezpečení správného vedení vodících kladek rámu korby, což umožňuje jeho správné naklopení (princip viz kapitola 4.2). Konstrukce je tvořena dvěma profily tvaru U, které jsou ohnuty do příslušného tvaru. Tyto profily jsou vzájemně spojeny příčnými výlisky z plechu tl. 2mm, které zároveň slouží jako připojovací členy k pevné části rámu. Veškeré ustavení mezi jednotlivými díly tohoto svarku je provedeno pomocí zámků (viz obr. 4-17 vlevo), které umožňují přesné svaření. Připojení celého svarku ke konstrukci pevné části rámu je provedeno pomocí osmi kusů šroubů M8.



Obr. 4-17 Vodící kolejnička.

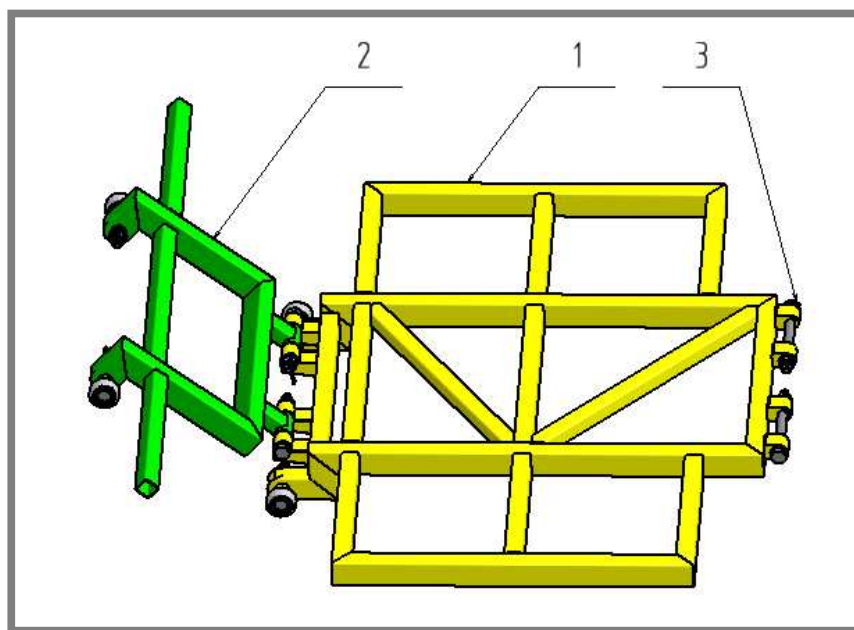
4.3.5 Rám korby

Rám korby je vytvořen ze dvou, vzájemně pohyblivých, svarků (viz obr. 4-18), k nimž bude přišroubována nástavba. Způsob, jakým se rám korby pohybuje, je vysvětlen v kapitole 4.2.

Svarek č.1 tvoří hlavní část rámu korby, která bude nést většinu nákladu. Na pravé straně (dle orientace na obr. 4-18) je otočně uchycen k pohyblivé části rámu. Na levé straně je opět otočně uchycen k svarku č.2. Všechny čepy jsou zajištěny pomocí korunových matic a závlaček. Na levé straně tohoto svarku se nachází vodící kladky (Blickle FSTH 50x18 17-10K), z nichž každá má zaručenou únosnost 80kg, což je vzhledem k rozložení váhy nákladu dostačující (viz výpočet níže).

Výpočet čepů [2]

Z programu Autodesk Inventor 2010 byla zjištěna poloha těžiště užitečné zátěže přepravované na korbě, která je přibližně v jedné třetině délky svarku č.1 (měřeno od nejvíce namáhaného čepu – poz.3). Z toho vyplývá, že na poz.3 (dle obr. 4-18) bude působit 2/3 celkové hmotnosti, což znamená, že čepy v tomto místě budou nejvíce namáhané. Proto jsou nadále na zatížení počítány jen tyto čepy.



Obr. 4-18 Rám korby.

Údaje potřebné pro výpočet:

způsob namáhání:	na střih, na otláčení
množství čepů:	2ks (4 střižná místa i 4 plochy na otláčení)
materiál čepu:	S 235
průměr čepu:	16mm
minimální délka uchycení čepu:	20mm
užitečná zátěž v korbě m_1 :	360kg
hmotnost rámu korby m_2 :	25kg

střižná plocha:	$S_s = \pi r^2 = \pi \cdot 8^2 \text{ mm} = 201 \text{ mm}^2$
plocha na otláčení:	$S_o = dl = 16 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm} = 320 \text{ mm}^2$

Dle vypočtených ploch je zřejmé, že má význam dále počítat čepy jen na střih.

Hmotnost působící na kladky Blickle FSTH 50x18 17-10K:

$$m_k = \frac{1}{3} (m_1 + m_2) = \frac{1}{3} (360 \text{ kg} + 25 \text{ kg}) = 128,3 \text{ kg}$$

Síla působící na kladky Blickle FSTH 50x18 17-10K:

$$F_k = m_k g = 128,3 \text{ kg} \cdot 10 = 1283,3 \text{ N}$$

Hmotnost působící na čepy:

$$m_{\check{c}} = \frac{2}{3} (m_1 + m_2) = \frac{2}{3} (360\text{kg} + 25\text{kg}) = 256,6\text{kg}$$

Síla působící na čepy:

$$F_{\check{c}} = m_{\check{c}} g = 256,6\text{kg} \cdot 10 = 2566,6\text{N}$$

Napětí v místě stříhu:

$$\sigma = \frac{F_{\check{c}}}{4S} = \frac{F_{\check{c}}}{4\pi r^2} = \frac{2566,6\text{N}}{4\pi \cdot 8^2\text{mm}^2} \cong 3,2\text{MPa}$$

Z výsledku je patrné, že statické namáhání čepů je minimální a to natolik, že ani dynamické namáhání nemůže nijak ohrozit funkčnost čepů. Rozměr čepů pro prototyp byl zachován, ale do budoucna lze uvažovat o zmenšení průměru čepu.

Svarek č.2 je pomocný a nese jen malou část z celkové užitečné zátěže. Proto nebyl proveden výpočet. Jeho význam je především při zasunutí zadní nápravy, kdy zvětšuje výšku korby. V případě vysunutí zadní nápravy, kdy se korba nachází ve vodorovné poloze, slouží pouze jako čelní uzavření korby a nenese žádnou zátěž (více viz obr. 4-3).

4.3.6 Zajišťovací zařízení

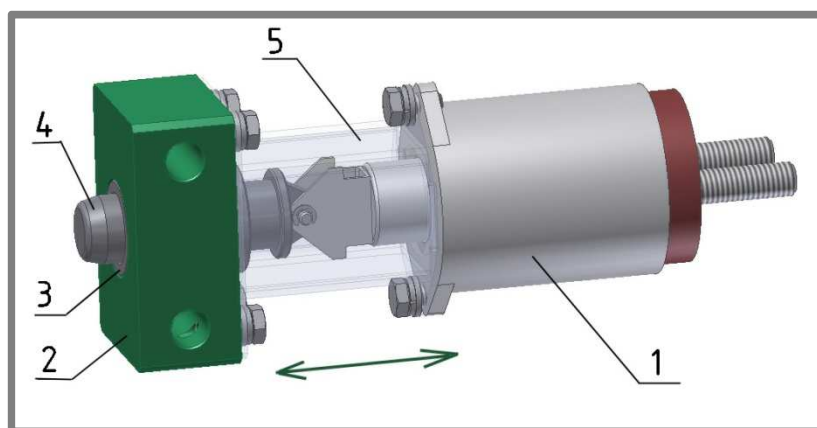
4.3.6

Výsuvná zadní náprava je vybavena dvěma druhy zajištění v krajních polohách.

4.3.6.1 Zajišťovací zařízení provozní

4.3.6.1

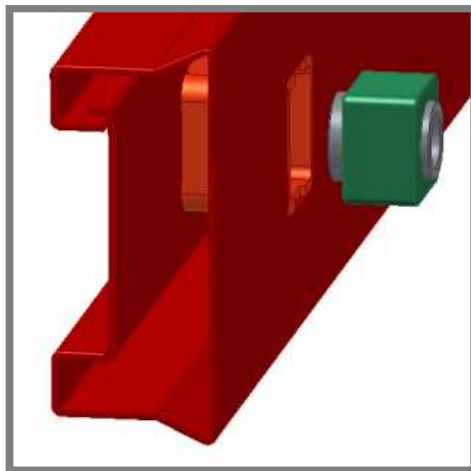
Provozní zajišťovací zařízení je určeno k primárnímu zajištění vnitřního kluzného profilu v požadované poloze (vysunutá/zasunutá zadní náprava). Dle kapitoly 3.1.1 byla zvolena varianta, která ke své funkci využívá lineárního magnetu ze startéru vozu Škoda 105. Toto řešení bylo zvoleno pro svou jednoduchost a nízké pořizovací náklady.



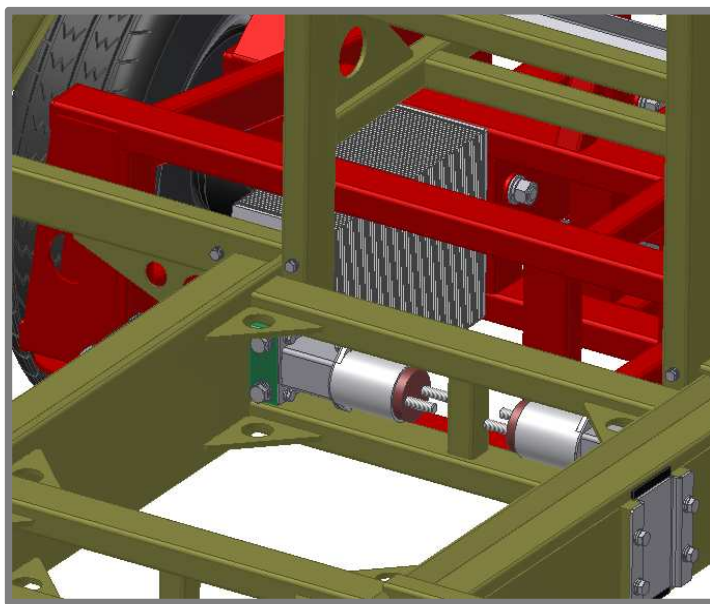
Obr. 4-19 Provozní zajišťovací zařízení.

Popis funkce provozního zajišťovacího zařízení (obr. 4-19)

Jak bylo výše uvedeno, základ tohoto zajišťovacího zařízení tvoří lineární elektromagnet, který původem pochází ze startéru automobilu Škoda 105 (poz.1). Tento lineární elektromagnet je propojen se zajišťovacím čepem (poz.4), jenž je uložen ve vodícím pouzdře (poz.3) [16], vodící pouzdro je nalisováno do základního domečku (poz.2). Použití tohoto druhu uložení umožňuje lineární pohyb zajišťovacího čepu (viz zelená šipka v obrázku). Ten se zasouvá do vodících kamenů (obr. 4-20) uložených v domečcích zavařených do vnitřního vodícího profilu (viz obr. 4-8 a 4-10), s vůlí. Vzhledem k tomu, že provozní zajišťování je připevněno k pevné části rámu (viz obr. 4-21) a vodící kámen je uložen v pouzdře přivařeném do vnitřního kluzného profilu, který je součástí pohyblivé části rámu, dochází k zablokování vzájemného pohybu obou polovin nosného rámu. Celý mechanismus je krytován (poz.5).



Obr. 4-20 Vodící kámen.



Obr. 4-21 Uložení provozního zajištění do pevné části nosného rámu elektromobilu.

Výpočet zatěžující síly od brzd

Jediná síla, která může na zajišťovací čepy mít vliv, musí působit v podélném směru (ve směru vysouvání/zasouvání zadní nápravy). Je tedy zřejmé, že zajišťovací čepy budou nejvíce namáhány od účinku brzd, neboť se nepředpokládá, že by mohlo být zrychlení elektromobilu větší než zpomalení od brzd. Jelikož elektromobil používá přední i zadní nápravu z vozu Trabant 601 a má i obdobné hmotnostní parametry, vychází se při následujícím výpočtu z parametrů získaných v příručce [1].

Údaje potřebné pro výpočet zatěžující síly od brzd

Brzdná dráha 80 km/h → 0 km/h (ΔS):	45m
Hmotnost plně zatíženého elektromobilu (m_c):	1040kg
Koeficient bezpečnosti (K):	1,4

Výpočet zpomalení [2]

$$\Delta S = \frac{1}{2}at^2 \Rightarrow a = \frac{2\Delta S}{t^2}; \quad \Delta V = at \Rightarrow a = \frac{\Delta V}{t}$$

$$\frac{\Delta V}{t} = \frac{2\Delta S}{t^2} \Rightarrow \Delta V t = 2\Delta S$$

$$t = \frac{2\Delta S}{\Delta V} = \frac{2 \cdot 45m}{22,22m \cdot s^{-1}} = 4,05s$$

$$a_{brzd.} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{22,22m \cdot s^{-1}}{4,05s} = 5,5 m s^{-2}$$

Výpočet zatěžující síly od brzd

$$F_b = m_c a_{brzd} K = 1040kg \cdot 5,5m \cdot s^{-2} \cdot 1,4 = 8008N$$

Výpočet zajišťovacího čepu [2]

Zajišťovací čep (v obr. 4-19 poz.4) se zasunuje do vodícího kamene (obr. 4-20) a je namáhán na stříh a na otláčení, což je dáno omezenou možností pohybu kluzného vedení pouze v podélném směru (vysunutí/zasunutí zadní nápravy). Zajišťovací čep má po celé své funkční délce hladký povrch bez jakéhokoliv odstupňování, což zamezuje vzniku vrubového účinku.

Údaje potřebné pro výpočet zajišťovacího čepu:

způsob namáhání:	na stříh, otláčení
množství zajišťovacích čepů:	2ks (2 střížná místa)
materiál čepu:	14 220
průměr čepu:	20mm
minimální délka zasunutí čepu do pouzdra (b):	10mm
zatěžující síla F_b :	8008N

Plocha při namáhání na střih:

$$S_{střihu} = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi 20^2}{4} = 314 \text{ mm}^2$$

Plocha při namáhání na otláčení:

$$S_{otlačení} = db = 20 \cdot 10 = 200 \text{ mm}^2$$

Jak je patrné, má význam dále provádět výpočet pouze na otláčení, neboť tato plocha je výrazně menší.

Výpočet zatížení zajišťovacího čepu na otláčení

$$P = \frac{F_b}{2S_{otlačení}} = \frac{8008 \text{ N}}{2 \cdot 200 \text{ mm}^2} \cong 20 \text{ MPa}$$

Z vypočítaného zatížení čepu je zřejmé, že výsledná hodnota je hluboce pod mezí kluzu použitého materiálu a nehrozí tak žádné riziko ani z pohledu dynamického namáhání čepu. Rozměr čepu nebyl zmenšen z důvodu vhodnosti jeho rozměrů vůči ostatním komponentům konstrukce.

Kontrolní výpočet šroubů držících provozní zajišťovací zařízení:

Pro uchycení provozního zajišťovacího zařízení (viz obr. 4-19) k pevné části nosného rámu elektromobilu bylo použito pro každou jednotku dvou kusů pevnostních šroubů M10x70 (10.9). Tyto šrouby jsou namáhány na tah. Primárně jsou šrouby zatěžovány silou od brzdného účinku – F_1 (posouvající), ale vzhledem k charakteru uchycení provozního zajištění vzniká ještě přidružená síla od ohybového momentu F_2 (od ohybu). V tomto případě je předpokládáno, že obě síly mají společný imaginární bod otáčení na hraně základního domečku (na obr. 4-22 zobrazen jako zelená tečka). Celková síla, která působí na šroub je tedy dána součtem sil F_1 a F_2 .

Údaje potřebné pro kontrolní výpočet šroubů M10x70

Počet šroubů i	4ks
Třída pevnosti	10.9
L_1 (dle obr.4-16)	45mm
L_2 (dle obr.4-16)	15mm
F_1 (dle obr.4-16)	$F_{\text{posouvající}}$
F_2 (dle obr.4-16)	$F_{\text{od ohybu}}$
Stoupání závitu $P = P_h$	1,5mm
Úhel profilu metrického závitu α	60°
Výška základního trojúhelníku H	1,299mm
Plocha A_s	58mm ²
Koeficient K_n	1,5
d_h	11mm
S	16mm
Délka zašroubování L_3	15mm

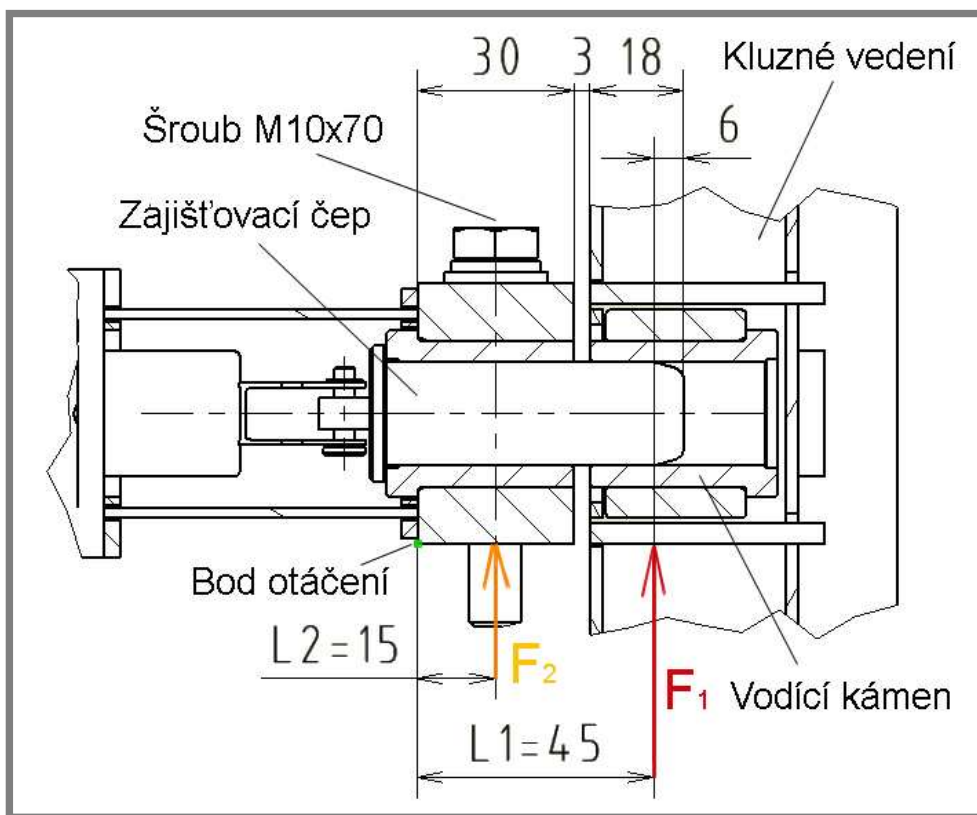
Výpočet celkové zatěžující síly na upevňovací šroub

$$F_{\text{posouvající}} = \frac{F_b}{i} = \frac{8008N}{4} = 2002N$$

$$F_{\text{od ohybu}} L_2 = F_{\text{posouvající}} L_1 \Rightarrow F_{\text{od ohybu}} = \frac{F_{\text{posouvající}} L_1}{L_2} = \frac{2002N \cdot 45mm}{15mm}$$

$$F_{\text{od ohybu}} = 6006N$$

$$F_{\text{šroubu}} = F_{\text{posouvající}} + F_{\text{od ohybu}} = 2002N + 6006N = 8008N$$



Obr. 4-22 Síla působící na upevňovací šrouby od vzniklého momentu. (F_1 - síla posouvající, F_2 - síla vzniklá od ohybového momentu)

Výpočet potřebného utahovacího momentu [2]

$$F_i = K_n F_{\text{šroubu}} = 1,5 \cdot 8008 = 12012N$$

$$d_2 = d - \frac{3}{4}H = 10 - \frac{3}{4} \cdot 1,299 = 9,025mm$$

$$d_3 = d - \frac{17}{12}H = 10 - \frac{17}{12} \cdot 1,299 = 8,159mm$$

$$d_o = \frac{S d_h}{2} = \frac{16.11}{2} = 13,5mm$$

$$M = M_z + M_o = \frac{F_i d_2}{2} \left[\frac{P_h + \pi f d_2 \sec(\alpha/2)}{\pi d_2 - f P_h \sec(\alpha/2)} \right] + \frac{F_i f_o d_o}{2}$$

$$M = \frac{12012.9,025}{2} \left[\frac{1,5 + \pi \cdot 0,2.9,025 \cdot \sec(60^\circ/2)}{\pi \cdot 9,025 - 0,2.1,5 \cdot \sec(60^\circ/2)} \right] + \frac{12012.0,15.13,5}{2}$$

$$M = 15396Nmm + 12162Nmm \cong 27600Nmm \cong 28Nm$$

Kontrolní výpočet šroubu M10x70 (10.9)

Napětí od předpětí

$$\sigma_i = \frac{F_i}{A_s} = \frac{12012N}{58mm^2} = 207MPa$$

Smykové napětí ve šroubu

$$\tau = \frac{16M_z}{\pi d_3^3} = \frac{16.15396Nmm}{\pi \cdot 8,159^3mm} = 144,4MPa$$

Redukované napětí podle podmínky měrné energie napjatosti změny tvaru

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_i^2 + 3\tau^2} = \sqrt{207^2MPa + 3 \cdot 144,4^2MPa} = 325MPa$$

Součinitel bezpečnosti vůči meznímu stavu pružnosti

$$K_k = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{red}} = \frac{900MPa}{325MPa} \cong 2,77$$

Malý průměr závitu matice

$$D_1 = d - \frac{5}{4}H = 10mm - \frac{5}{4}1,299mm = 8,376mm$$

Počet činných závitů

$$n_z = \frac{L_3}{P} = \frac{15}{1,5} = 10$$

Kontrola tlaku v závitech – při předpokládaném rovnoměrném rozložení zatížení

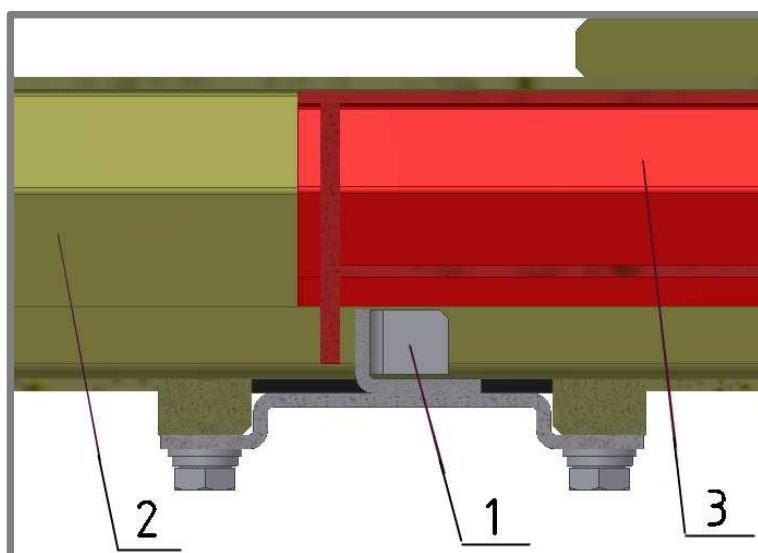
$$p = \frac{F_i}{n_z \frac{\pi}{4} (d^2 - D_1^2)} = \frac{12012N}{10 \cdot \frac{\pi}{4} (10^2 mm - 8,376^2 mm)} \cong 50 MPa$$

Vzhledem k tomu, že materiál „matice“ je S355, u kterého je přípustný tlak až 75MPa, je výsledek vyhovující [2].

4.3.6.2 Zajišťovací zařízení montážní

4.3.6.2

Montážní zajišťovací zařízení (viz obr. 4-23 poz.1) funguje jako mechanický doraz a plní úlohu pojistky pro případ, že by došlo k selhání provozního zajišťovacího zařízení. Při běžném provozu (vysouvání/zasouvání zadní nápravy) není toto zařízení nijak namáháno, neboť je mezi zarážkami vždy alespoň minimální mezera. Aby bylo možné provést kompletní vyjmutí pohyblivé části nosného rámu (poz.3), je montážní zajišťovací zařízení (poz.1) připevněno pomocí čtyř kusů šroubů M8x16.



Obr. 4-23 Montážní zajišťovací zařízení (1), pevná část rámu (2), pohyblivá část rámu (3).

4.3.7 Zakrytování pohyblivých částí vedení

4.3.7

Dle kapitoly 3.1.1 bylo rozhodnuto použít k zakrytování funkčních pohyblivých ploch vedení krycích měchů, které se běžně používají pro krytí lineárního vedení u CNC strojů. Jako dodavatel byla zvolena firma Lin-tech [12]. Pro návrh vhodného krytu funkční části kluzného vedení bylo s výhodou využito k tomu určeného softwaru této firmy.

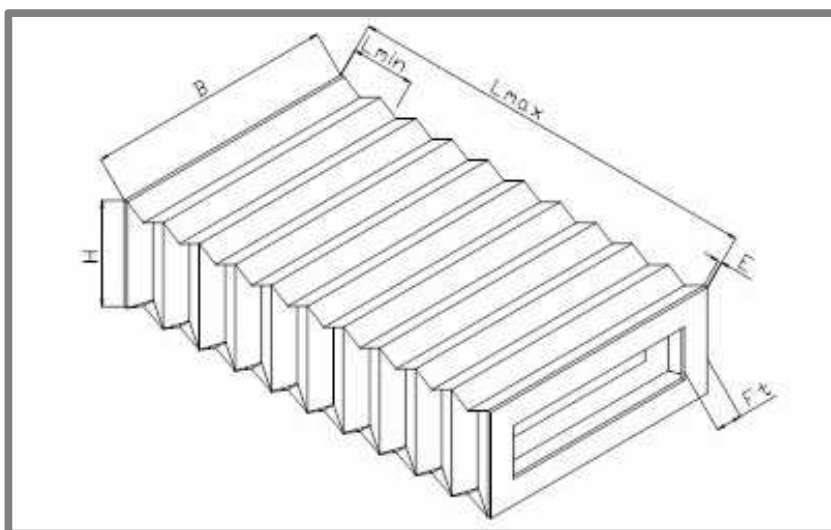
Požadavky na zakrytování funkční části lineárního vedení:

Odolnost vůči:	prachu, vodě, oleji
Minimální vnitřní výška:	160mm
Minimální vnitřní šířka:	75mm
Minimální možná délka při roztažení:	1155mm
Maximální možná délka při stlačení:	260mm

Zvolená varianta vygenerovaná z návrhového softwaru firmy Lin-tech:

Všechny zde uvedené rozměry se vztahují k obr. 4-24.

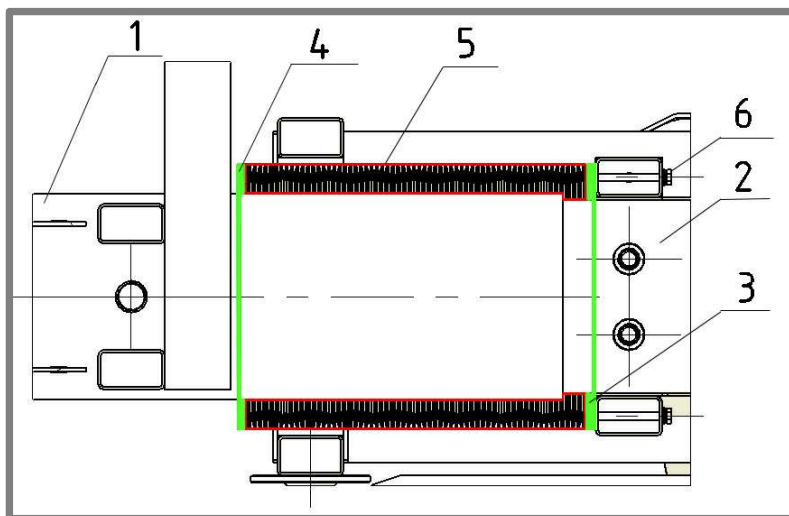
Typ krytu:	Typ C
Materiál měchu:	PVC 0.25
Max. délka L_{\max} :	1250mm
Min. délka L_{\min} :	186mm
Hloubka skladu Ft:	15mm
Tloušťka příruby E:	2mm
Tloušťka PVC rámečku:	1mm
Šíře krycího měchu B:	110mm
Výška krycího měchu H:	200mm
Připojení příruby – levá i pravá strana:	Typ B



Obr. 4-24 Krycí měch, tak jak je zobrazen v online objednávce Lin-tech [12]

Připojení krycích měchů ke konstrukci nosného rámu

Krycí měch obr. 4-25 (poz.5) je připevněn pomocí šroubů M5 (nebo suchého zipu) k uzavíracím přírubám (poz.3,4). Tyto příruby jsou vyrobeny z duralového plechu tl. 5mm. V jejich středu je vyfrézován přesný tvar kluzného profilu, čímž je po montáži zajištěno přesné uzavření chráněné části. Uzavírací příruby jsou k pevné (poz.1) i pohyblivé (poz.2) části rámu připevněny pomocí šroubů M8 (poz.6). Na jednotlivých PVC rámečcích tvořících výztuhu měchu jsou připevněna plastová kluzátka, která usnadňují pohyb jednotlivých skladů měchu přes vnější kluzné vedení, které vytvářím schod.



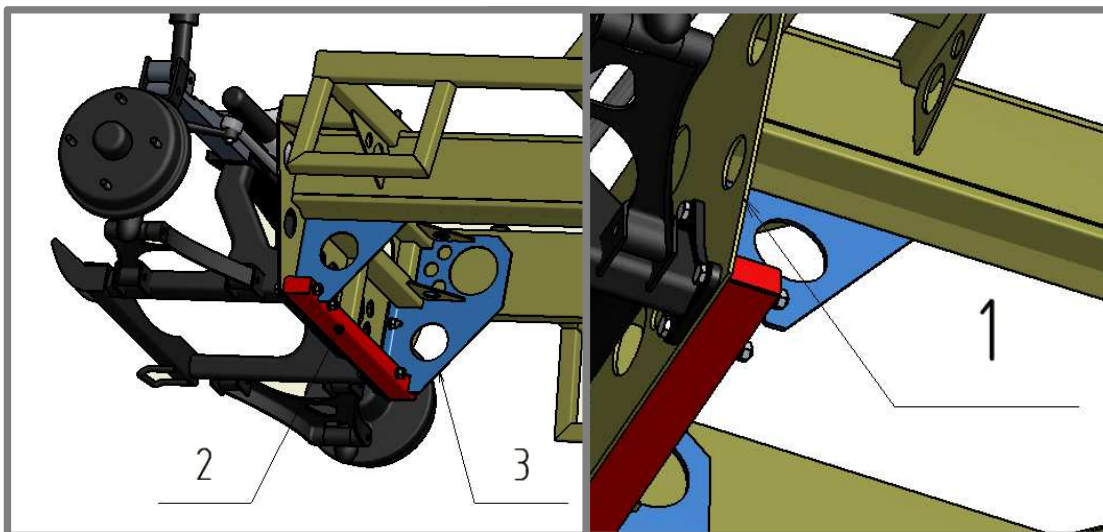
Obr. 4-25 Řez krycím měchem instalovaným na konstrukci nosného rámu.

4.3.8 Uchycení přední nápravy Trabant 601

4.3.8

Řešení přední nápravy nebylo předmětem této diplomové práce, ale poněvadž bylo potřeba zajistit návaznost nosného rámu elektromobilu mimo jiné i na přední nápravu, bylo nutné znát její parametry a přední část rámu jim přizpůsobit. Bylo také potřeba zachovat způsob připojení pomocného rámu pomocí dvou přírub (viz obr. 4-26). Tyto jsou přišroubovány šesti šrouby M10 k nosnému rámu.

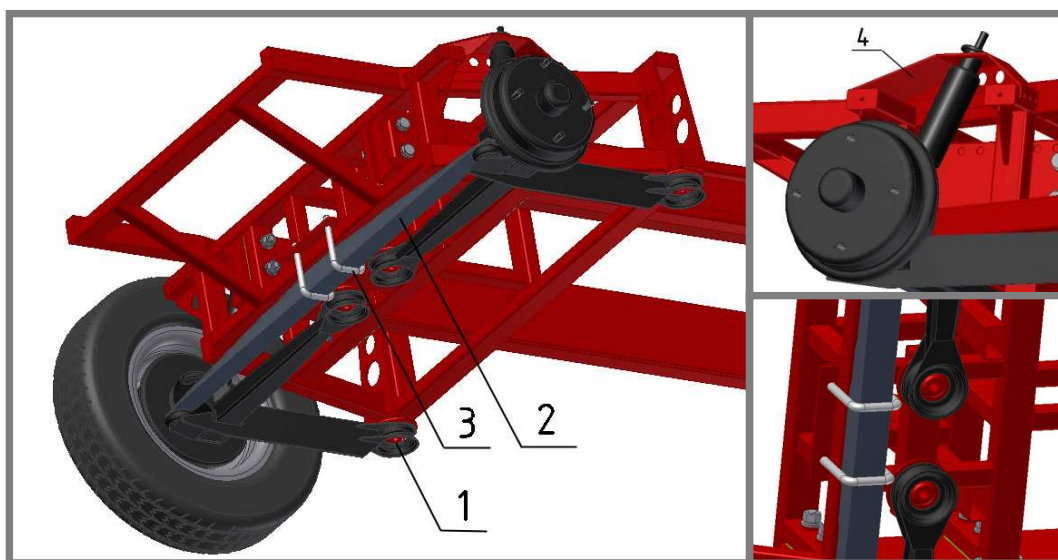
Konstrukční řešení uchycení pomocného rámu přední nápravy pomocí dvou přírub, které bylo navrženo, je zobrazeno na obr. 4-26. Základ tvoří čelní deska tl.4mm (poz.1), k níž je ve spodní části přivařen uzavřený profil 50x30x2 (poz.2). V tomto profilu jsou zavařena výztužná pouzdra pro šroubový spoj, aby nemohlo dojít k jeho promáčknutí. Celek pak uzavírají dvě podélná výztužná žebra tl.4mm (poz.3), která mají za úkol zvýšit tuhost celého uložení vzhledem k podélnému namáhání od brzdného účinku. Vše je součástí svařence pevné části rámu.



Obr. 4-26 Uchycení přední nápravy vozu Trabant 601 k pevné části rámu.

4.3.9 Uchycení zadní nápravy Trabant 601

Zadní náprava vozu Trabant se skládá ze dvou úhlových ramen (vlečené trojúhelníkové závěsy). Vzhledem k charakteru použitých náprav zůstalo jejich upevnění k vozu obdobné jako u originálu. Podélné i příčné rameno trojúhelníkového závěsu je na protilehlém konci uloženo v pryžových kroužcích na výztuhách přivařených k pohyblivé části rámu (poz.1 a detail vpravo dole). Upevnění je provedeno přes pryžové bloky pomocí šroubů M12 a vyduté misky, jenž umožňuje vyklánění ramena [1]. Příčné listové pero (poz.2), které zajišťuje odpružení obou zadních ramen, je připevněno pomocí dvou třmenů (poz.3) k zadní straně pohyblivé části rámu. Tlumiče zadních náprav jsou připevněny k „podběhům“ (poz.4) na pohyblivé části rámu, přičemž otvory pro upevnění tlumičů budou vyvrtány na míru při montáži po důkladném změření a slícování s použitými nápravami viz obr. 4-27.

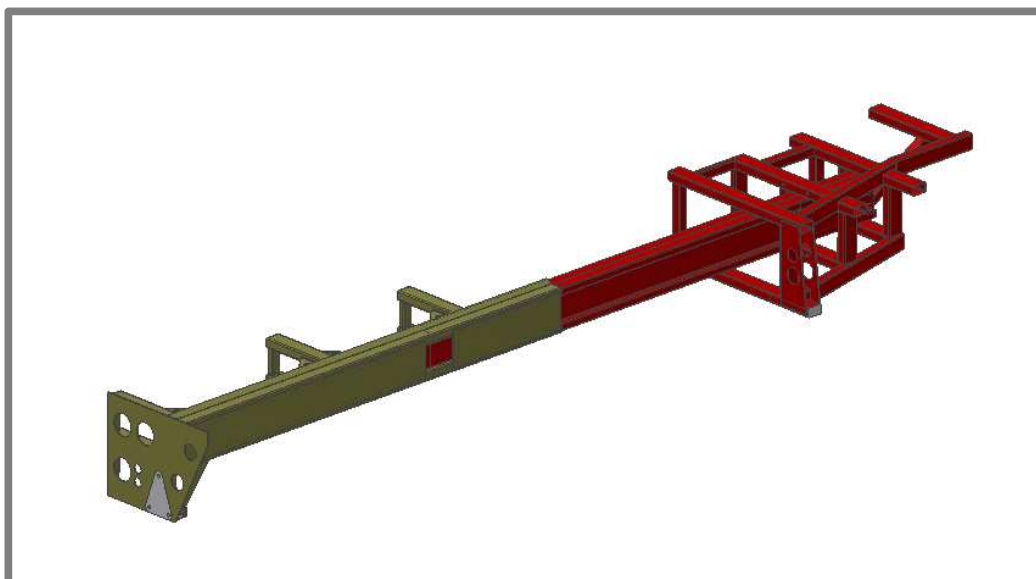


Obr. 4-27 Uchycení zadních polonáprav vozu Trabant 601 k pohyblivé části rámu.

4.4 MKP analýza rámu

Analýza pevnosti rámu byla provedena metodou konečných prvků v programu ANSYS Workbench 12.1 [17]. Pro analýzu byl použit 3D model rámu elektromobilu vytvořený v programu Inventor 2010. Aby rám lépe vyhovoval požadavkům pro simulaci, byly odstraněny všechny nadbytečné prvky konstrukce, které nemají na analýzu vliv. Naopak všechny svary, které se v konstrukci nacházejí, byly doplněny formou zaoblení hran. Jelikož je rám symetrický, bylo rozhodnuto pro menší náročnost výpočtu jej podélně rozpůlit a simulovat tak jen jeho jednu polovinu. Rám s úpravami pro simulaci v programu ANSYS je zobrazen na obr. 4-28.

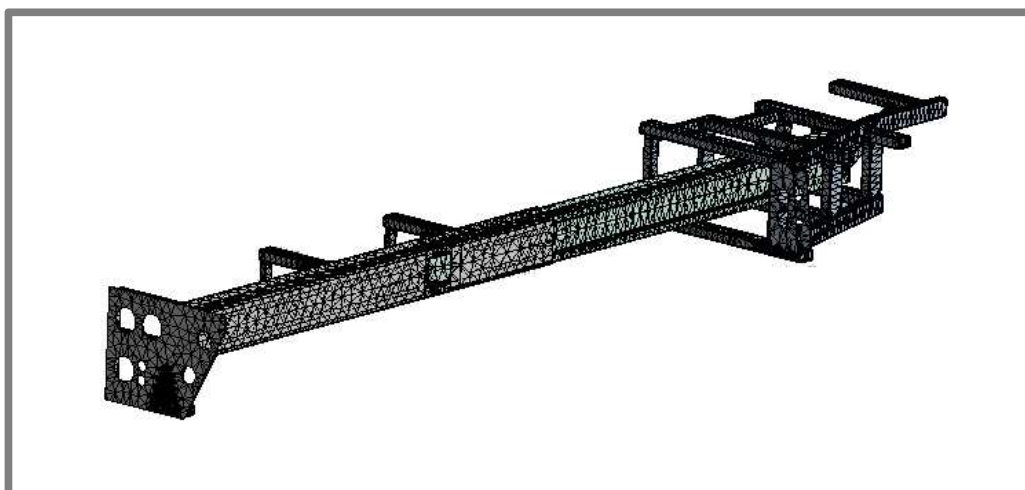
Na konstrukci rámu je použit materiál S235 (profily obdélníkového průřezu) a S355 (plechové díly).



Obr. 4-28 Rám upravený pro pevnostní analýzu

Pro výpočet byla na modelu rámu vytvořena síť prvků (viz obr. 4-29), která má velikost globálně 30mm, přičemž všude tam, kde dochází k významnějšímu zatížení, je síť zjemněna. Nejvýznamnější zjemnění sítě je v místech připojení přední a zadní nápravy (velikost prvku 6mm) a dotyku pevné a pohyblivé části kluzného vedení (3mm).

I když se vozidlo během provozu může nacházet v několika jízdních režimech (krátká/dlouhá varianta, různé zatížení nákladem), pro zjednodušení bylo při simulaci počítáno pouze s nejnepříznivější variantou zatížení rámu, tedy s takovou situací, kdy bude náprava plně vysunutá (největší rozvor náprav) a vozidlo bude plně zatíženo.



Obr. 4-29 síť konečných prvků

Pro tuto situaci pak byly simulovány tři režimy, které jsou popsány v následujících podkapitolách:

4.4.1 Základní analýza (vozidlo stojí nebo je v rovnoměrném přímočarém pohybu)

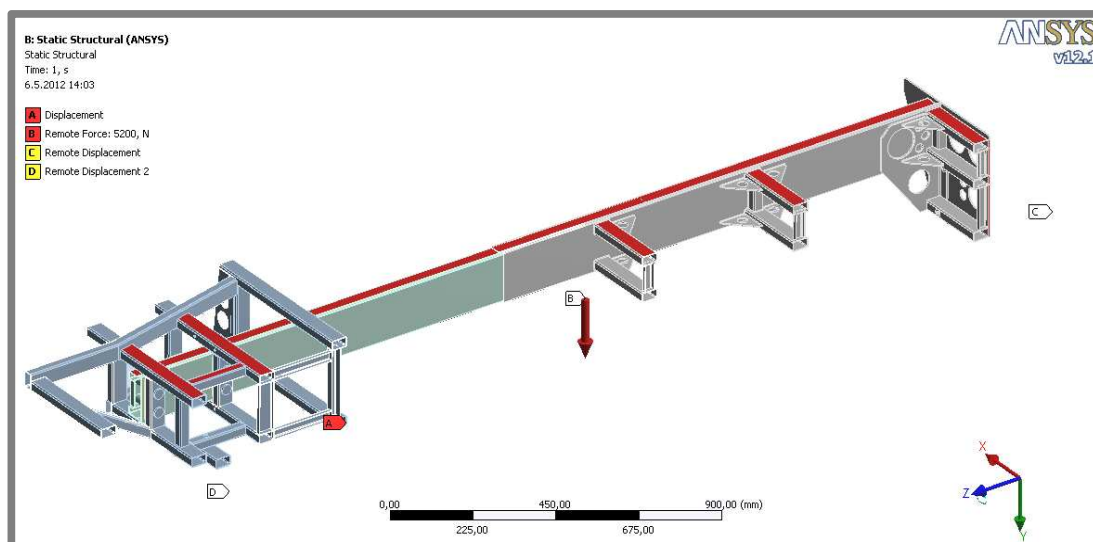
4.4.2 Vozidlo při rozjezdu

4.4.3 Vozidlo při intenzivním brzdění

4.4.1 Základní analýza

Základní analýza spočívá v otestování rámu vozidla v klidové poloze. Rám je zatížen silou odpovídající hmotnosti plně naloženého vozidla v gravitačním poli. U tohoto zatížení se nepředpokládá zjištění výraznějšího namáhání, je zde však předpoklad, že simulace může ukázat, jak bude rám namáhán.

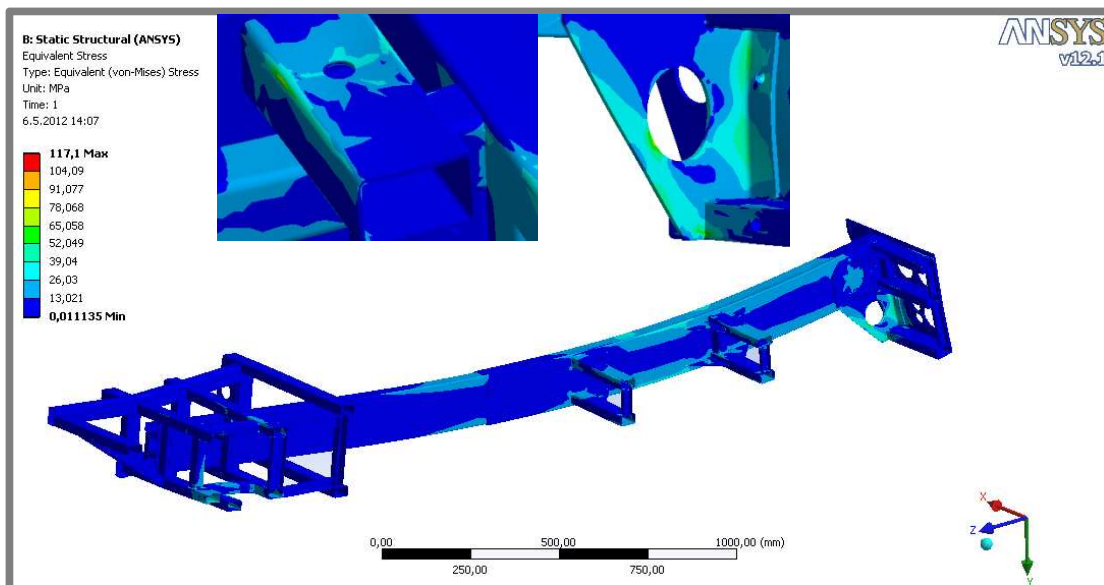
Poněvadž je pro simulaci použita jen jedna polovina rámu, jsou všechny přerušené části opatřeny vazbou displacement (A), která znemožňuje pohyb v ose X, ale nebrání pohybu v osách Y a Z. Uchycení přední nápravy včetně pomocného rámu simuluje vazba remote displacement (C), která umožňuje pohyb v rovině Z a rotaci kolem osy X, přičemž poloha středu této vazby je umístěna do místa, kde se nachází osa kol přední nápravy. Uchycení zadní nápravy je opět provedeno pomocí vazby remote displacement, pouze s tím rozdílem, že v tomto případě je povolena pouze rotace kolem osy X. Jediná síla, která v tomto případě tvoří zatížení rámu vozidla, je síla vzniklá od hmotnosti plně naloženého vozidla (B). Hodnota zatěžující síly pro jednu polovinu rámu je poloviční, tedy 5200N. Všechny vazby a zatížení jsou zobrazeny na obr. 4-30.



Obr. 4-30 Vazby a zatížení rámu při základní analýze

Analýza zatížení byla provedena metodou HMH. Jak můžeme vidět na obr. 4-31, jsou dle očekávání nejvíce namáhány především místa uchycení náprav. U vzpěry přední nápravy se maximální napětí pohybuje okolo 65MPa, v chycení zadní nápravy okolo 75MPa. Maximální napětí 117MPa, které je na stupnici přiloženého obrázku vidět se nachází na okraji profilu, který drží listové pero zadní nápravy. Tato špička

napětí se nachází na hraně přerušného profilu a ve skutečnosti se tak v takové míře nebude na rámu vyskytovat. Veškeré hodnoty zatížení jsou dostatečně nízko pod mezí kluzu použitého materiálu a konstrukce vyhovuje.

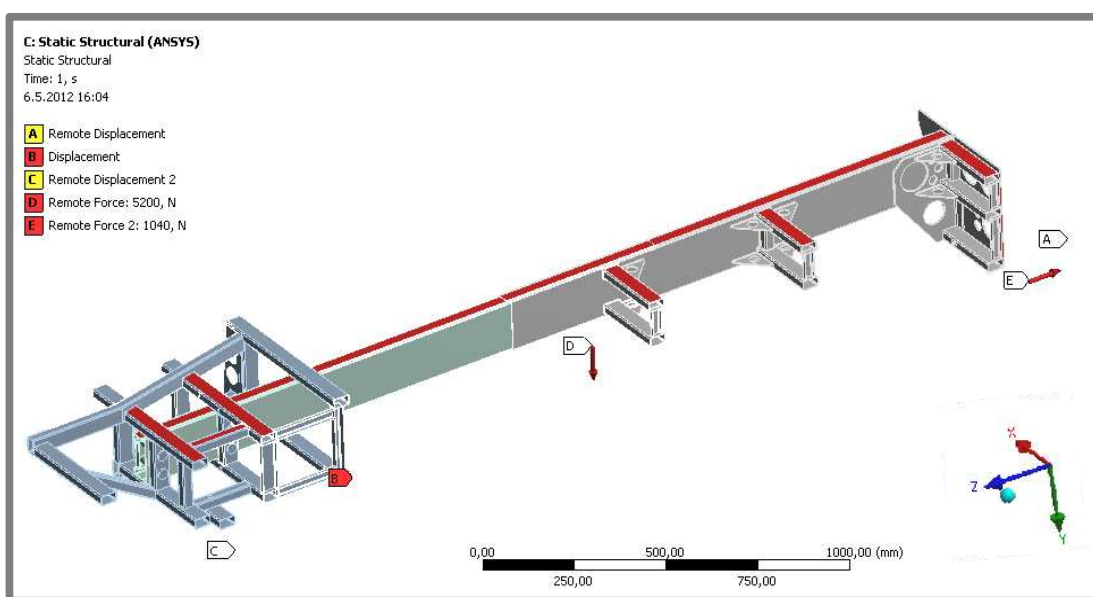


Obr. 4-31 Výsledek základní analýzy.

4.4.2 Vozidlo při rozjezdu

Další případ zatížení vozidla, kterým jsem se při vytváření simulací zabýval, byl rovnoměrně zrychlený pohyb. Byly zachovány vazby i zatěžující síla z předchozí základní analýzy (A uchycení pomocného rámu přední nápravy, B zamezení pohybu rámu v ose x, C uchycení zadní nápravy, D zatěžující síla od plně naloženého vozidla), Navíc byla zanesena síla E zastupující namáhání přední části nosného rámu od rovnoměrně zrychleného pohybu vozidla.

4.4.2



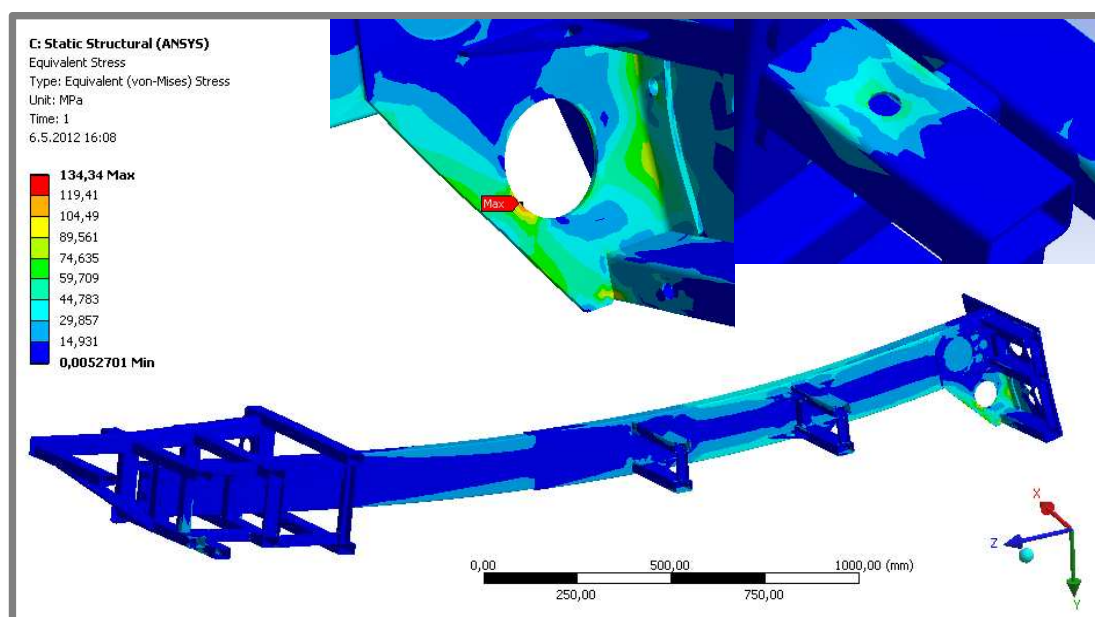
Obr. 4-32 Vazby a zatížení rámu při rovnoměrně zrychleném pohybu.

Hodnota této síly 2080N byla stanovena na základě předpokladu, že zrychlení vozidla nepřesáhne 2m.s^{-2} (viz výpočet níže), přičemž v simulaci je opět vzhledem k použité polovině rámu počítáno s polovinou této síly. Působí se nachází v místě styku předního kola s vozovkou a vzhledem k tomu, že má elektromobil poháněnou přední nápravu, působí celá tato síla pouze na uchycení přední nápravy (pomocného rámu) elektromobilu. Schéma vazeb a zatížení je vidět na obr. 4-32.

Výpočet velikosti zatížení od rovnoměrně zrychleného pohybu vozidla:

$$F_E = m_c a_{\text{zrychlení}} = 1040\text{kg} \cdot 2\text{m.s}^{-2} = 2080\text{N}$$

Analýza zatížení byla opět provedena metodou HMH a jak je z obr. 4-33 zřejmé, nejvyšší zatížení o hodnotě 134MPa se v tomto případě nachází na vzpěře upevnění pomocného rámu přední nápravy k nosnému rámu elektromobilu. Druhé nejvýznamnější napětí o velikosti 65MPa se nachází na místě uchycení zadní nápravy, zatížení hlavních nosných profilů se pohybuje do 50MPa. Všechny části konstrukce tedy vyhovují.

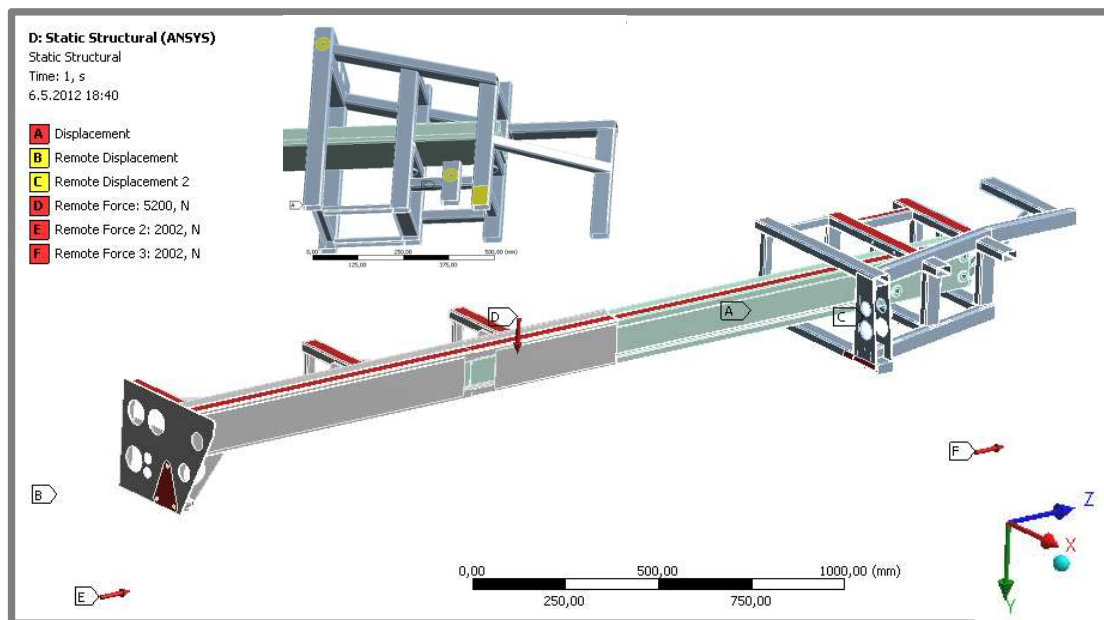


Obr. 4-33 Výsledek analýzy rovnoměrně zrychleného pohybu vozidla.

4.4.3 Vozidlo při intenzivním brzdění

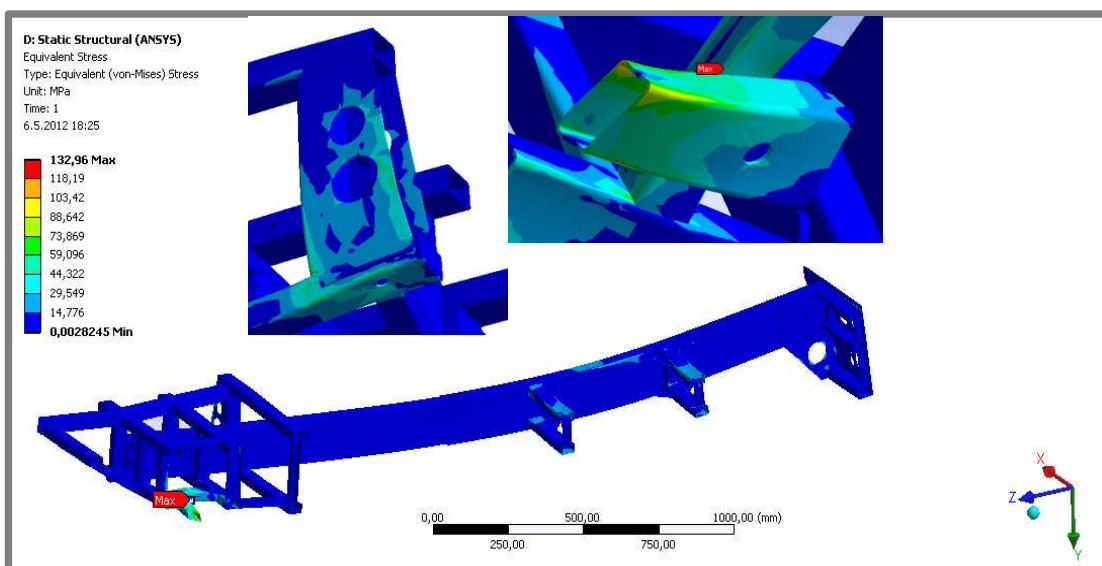
Posledním řešeným případem zatížení vozidla byl režim jízdy při intenzivním brzdění. Opět byly zachovány vazby a zatěžující síla ze základní analýzy (A zamezení pohybu rámu v ose X, B uchycení pomocného rámu přední nápravy, C uchycení zadní nápravy a D zatěžující síla od plně naloženého vozidla). Přibýlo zatížení rámu od brzdného účinku kol přední E a zadní F nápravy. Celková síla působící na rám při brzdění je převzata z kapitoly 4.3.6.1 a má hodnotu $F_b = 8000\text{N}$. Vzhledem k tomu, že se předpokládá rovnoměrné působení síly na přední i zadní

nápravu a v simulaci je použita pouze jedna polovina rámu, je patrné, že jak přední, tak i zadní uchycení nápravy bude namáháno stejnou silou o velikosti 2000N. Schéma vazeb a zatížení viz obr. 4-34. Síly brzdného účinku vždy působí na místa uchycení náprav, jejich působiště je ve vzdálenosti styku kol s vozovkou.



Obr. 4-34 Vazby a zatížení rámu při intenzivním brzdění.

Analýza zatížení proběhla metodou HMH a jak je z obr. 4-35 patrné, největší napětí 133MPa se nachází v místě uchycení příčného ramena zadní nápravy vozidla. Ve skutečnosti však v tomto místě tak velké napětí nebude, neboť toto místo bude ovařeno koutovými svary, a tudíž se napětí rozloží. V místě uchycení podélného ramene zadní nápravy se vyskytuje napětí do 70MPa, napětí v ostatních místech rámu jsou zanedbatelná. Všechny části konstrukce tedy vyhovují.



Obr. 4-35 Výsledek analýzy při intenzivním brzdění vozidla.

4.4.4 Zhodnocení výsledků MKP analýz rámu

Z předchozích třech MKP analýz je zřejmé, že největší zatížení se projevuje na dvou místech konstrukce. Prvním místem je vzpěra uchycení pomocného rámu přední nápravy, kde se při akceleraci elektromobilu projevuje napětí až 134MPa. Avšak vzhledem k tomu, že je tento díl konstrukce vyroben z materiálu S 355 ($Re = 355\text{MPa}$), je zde dostatečně velká rezerva, která by měla pokrýt všechny dynamické děje působící na tuto část konstrukce. Druhým místem je část rámu, kde jsou uchycena příčná ramena zadní nápravy. Zde se během intenzivního brzdění projevuje napětí až 133MPa. Použitý profil je sice z materiálu S235 ($Re = 235\text{MPa}$), ovšem v této části simulace nejsou upevňovací patky, přes které je rameno nápravy připevněno. Po připevnění těchto patek a ovaření profilu se dá předpokládat, že zde prezentované napětí se více rozloží a bude tedy ve skutečnosti nižší. Proto je i tato část konstrukce dimenzována dostatečně.

MKP analýzy prokázaly, že nosný rám elektromobilu byl z pevnostního hlediska navržen správně a není potřeba na něm dělat žádné úpravy.

4.6 Výroba prototypu

4.6

Poté, co byl dokončen konstrukční návrh nosného rámu, byla vyhotovena výkresová dokumentace a následně se přešlo na samotnou výrobu prototypu. Bylo rozhodnuto vyrobit kompletní podvozek včetně zrenovování náprav, aby mohl být odzkoušen princip vysouvání zadní nápravy. Stavba kabiny a pohyblivé korby prozatím realizována není – v případě kladného výsledku testování rámu výsuvné zadní nápravy se předpokládá zadání dalších samostatných prací, které by navazovaly na tuto a zabývaly by se důkladným řešením kabiny (designérský návrh) a možných variant nádstavieb (konstrukční řešení).

4.6.1 Rozebírání a renovace náprav

4.6.1

Byl zakoupen vrak vozu Trabant 601S (viz obr. 4-35), z něhož byly na dílně firmy Termobit vyjmuty potřebné díly určené k renovaci.



Obr. 4-35 Vyjmutí přední nápravy včetně pomocného rámu.

Všechny komponenty určené k dalšímu použití (přední a zadní náprava), byly rozebrány, očištěny a proběhla jejich kompletní renovace. Ta spočívala především ve výměně všech pryžových dílů, ložisek, čepů, opravě brzd a následné povrchové úpravě.



Obr. 4-36 Zrenovované pravé rameno zadní nápravy

4.6.2 Výroba kluzného vedení

Se zahájením přípravných prací k výrobě nosného rámu elektromobilu byla zároveň zadána i výroba kluzného vedení v brněnské firmě Kovo-plazma. Vzhledem k požadované vysoké přesnosti, bylo vyrobeno několik vzorků (jeden z nich je na obr. 4-37). Na základě jejich proměření se postupně provádělo seřízení ohraňovacího lisu. Poté, co byl vyroben poslední ověřovací vzorek v plné délce, byl vyroben konečný tvar kluzného vedení. V případě potřeby výroby dalších kusů kluzného vedení se seřízení již nebude muset provádět, neboť nastavení ohraňovacího lisu zůstalo zaznamenáno a může se kdykoliv znovu použít.



Obr. 4-37 Vzorek kluzného vedení.

Jelikož právě u pasáže kluzného vedení byly kladeny největší nároky na přesnost svařovacích prací, byl zde s výhodou použit montážně-svařovací stůl a sada přípravků, díky nimž bylo možno zajistit přesné ustavení dílů před svařením. Veškeré svařovací práce byly provedeny metodou TIG. Ke svaření byly použity pouze krátké svary (10 – 20 mm), přičemž přesnost svaření byla průběžně kontrolována. Jednalo se o nejkritičtější pasáž výroby rámu, neboť kdyby zde došlo v důsledku svařování ke zkroucení, kluzné vedení by se nemohlo vysouvat. Poté, co byly takto vyrobeny vnitřní kluzné profily, byly použity jako přípravky pro výrobu vnějšího vedení, které bylo svařováno na míru přímo na nich, aby byla zabezpečena přesnost uložení. Když bylo vedení takto vyrobeno a odzkoušeno, byla do vnitřního kluzného profilu zavařena pouzdra pro uchycení k pohyblivé části rámu a také domky pro vodící kameny provozního zajišťování.



Obr. 4-38 Zkušební sestavení vedení během svařovacích prací.

4.6.3 Výroba pevné a pohyblivé části rámu

Výroba nosného rámu elektromobilu se zakládala na následujících činnostech:

Příprava:

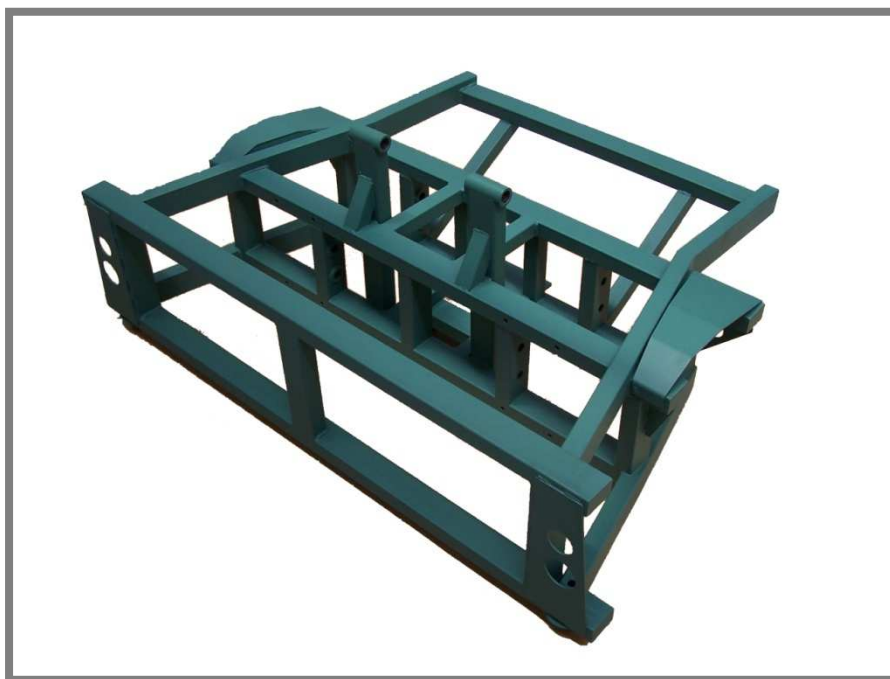
- Zadání výroby výpalků z plechu a jejich následné ohýbání na ohraňovacím lisu
- Nařezání profilů na potřebné rozměry
- Ověřovací sestavení svarku před jeho svařováním
- Odmaštění všech dílů

Svařování:

- Ustavení na montážně - svařovacím stole a zajištění proti pohybu
- Svaření podsestav svarků
- Seskládání podsestav svarků do finálních konstrukčních celků a jejich opětovné svaření

Pohyblivá část rámu (viz výkres RamVZN-02-01):

Pohyblivá část rámu byla vyrobena jako první. Na její výrobu byly použity tenkostěnné profily (o průřezu 50x30 a 30x30 mm) a plechové výpalky, jejichž značná část byla také ohýbána na ohraňovacím lisu. Svarek byl vyroben postupným svařováním podsestav na montážně – svařovacím stole kombinací metody svařování MAG a TIG. Povrchová úprava je provedena syntetickými barvami. Pohyblivá část rámu byla následně použita jako přípravek ke slícování pevné části rámu před svařením.



Obr. 4-39 Pohyblivá část rámu.

Pevná část rámu (viz výkres RamVZN-01):

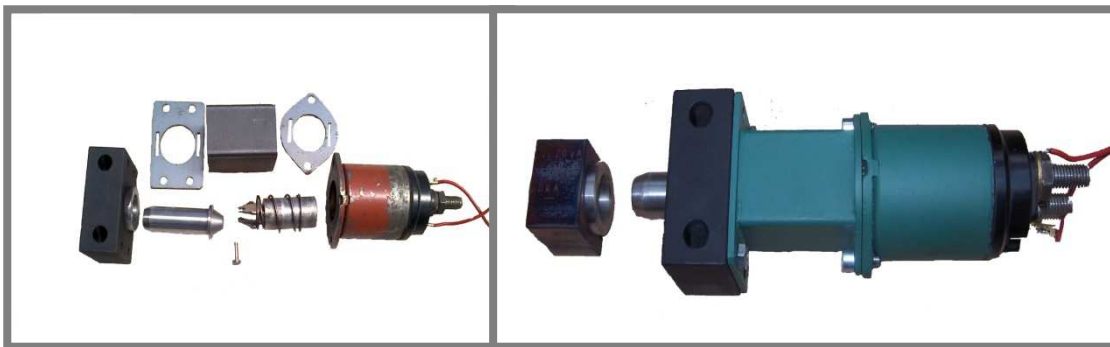
Základ pevné části rámu tvoří vnější části kluzného vedení, které zároveň nahrazují hlavní podélníky žebřinové konstrukce rámu. Mezi tyto podélníky byly postupně přivařeny tři příčné výztuhy, které byly jako podsestavy svařeny předem. Jako první byla přivařena přední příčná výztuha 1, která společně s ostatními díly této pasáže tvoří čelní příčku, ke které je uchycen pomocný rám s přední nápravou. Rám v této fázi tedy již držel pohromadě, ale kluzné vedení v zadní části stále umožňovalo částečně měnit rozteč, což bylo důležité k přesnému seřízení rovnoběžnosti při vysouvání. To proběhlo tak, že na vnitřní kluzné vedení byla připevněna pohyblivá část rámu a u takto vytvořené sestavy bylo vyzkoušeno, zdali při vysouvání nedochází ke svírání kluzného vedení. Jakmile bylo takto dosaženo rovnoběžnosti, byly do pevné části rámu postupně přivařeny i zbylé příčné výztuhy a rám se tak postupně stal dokonale tuhým. V poslední fázi stavby byly doplněny veškeré výztužné trojúhelníky a pasáž pro uchycení provozního zajištění. Průběžně bylo kontrolováno, zda vlivem svařování nedošlo k nechtěnému zkroucení rámu a zablokování vysouvání pohyblivé části rámu. Po odzkoušení byla tato část konstrukce stejně jako pohyblivá část natřena syntetickými barvami.



Obr. 4-40 Pevná část rámu.

4.6.4 Provozní zajišťování (viz výkres RamVZN-05):

Výroba provozního zajišťování byla založena na renovaci lineárních elektromagnetů původem z automobilového startéru a na výrobě komponentů zajišťujícího mechanismu. Pomocí zmrazení jedné součásti a nahřátí druhé bylo do základního domku nalisováno vodící pouzdro umožňující lineární chod zajišťovacího čepu. Zajišťovací čep byl uchycen k lineárnímu elektromagnetu a byl vyroben krycí domek, který zároveň funguje jako spojovací člen mezi lineárním elektromagnetem a základním domkem, za který je celá tato sestava uchycena k pevné části rámu elektromobilu. Po dokončení byla sestava provozního zajišťování za pomoci 12V olověné baterie odzkoušena samostatně, aby při zkoušení zajištění kluzného profilu byla vyloučena chyba u samotného provozního zajišťování.



Obr. 4-41 Provozní zajišťování (vlevo komponenty, vpravo hotový výrobek).

4.6.5 Montáž výsuvné zadní nápravy

4.6.5

Poté, co proběhla první část testování výsuvné zadní nápravy (viz kapitola 4.6.6), bylo přistoupeno k celkové montáži podvozku. Jako první byla dokončena montáž zadní nápravy vozidla k pohyblivé části rámu. Ta spočívala v uchycení rozvidlených závěsných ramen zadní nápravy přes pryžové bloky k upevňovacím bodům na rámu, což bylo provedeno pomocí k tomu účelu speciálně vyrobených šroubů M12. Mezi takto upevněná ramena zadní nápravy pak bylo vloženo příčné listové pero, které je k rámu uchyceno obdobně jako u originálu pomocí třmenů.



Obr. 4-42 Montáž zadní nápravy na pohyblivou část rámu.

Po smontování zadní pohyblivé části rámu, k ní byla přistavena pevná část a proběhlo upevnění vnitřního kluzného profilu k pohyblivé části. Toto byla nejdůležitější část montáže, neboť při upevňování muselo dojít k seřízení chodu obou polovin kluzného vedení tak, aby se pohybovaly současně a navzájem rovnoběžně, což bylo během montáže několikrát kontrolováno zkušebním vysunutím a zasunutím nápravy. V poslední fázi montáže bylo k pevné části rámu upevněno provozní zajišťování a zrenovovaná přední náprava. Celý podvozek byl tedy sestaven a připraven k otestování vysouvání a budoucí montáži jednotlivých komponentů, které na něm chce firma Termobit zkoušet.



Obr. 4-43 Sestavený rám výsuvné zadní nápravy.

4.6.6 Testování výsuvné zadní nápravy

Testování vysouvání zadní nápravy probíhalo ve dvou fázích:

4.6.6.1 Ověření chodu kluzného vedení.

Tato zkouška proběhla ještě před finální montáží podvozku a jejím hlavním účelem bylo odhalit případné nedostatky samotného kluzného vedení. Zkouška spočívala v tom, že pevná část rámu se pevně uchytila k montážnímu stolu a vnitřním kluzným profilem bylo pohybováno od jedné do druhé krajní polohy, přičemž byl kontrolován chod jak samotného kluzného vedení, tak i jeho vzájemná rovnoběžná poloha. K pevné části rámu bylo také připevněno provozní zajišťování, jehož funkce byla taktéž zkoušena.

Postup zkoušky:

- Výchozí poloha: kluzné vedení je zasunuté, zajištěné čepem provozního zajišťování (viz obr. 44 vlevo)
- Kluzné vedení bylo elektromagneticky odjištěno a povysunuto o 100mm
- Elektromagnet je vypnut, čep provozního zajišťování je pružinkou tlačен na vnitřní kluzný profil, ale ten mu svým tvarem brání v opětovném zajištění
- Vnitřní kluzný profil je dále vysouván až do nové krajní polohy
- Jakmile se vnitřní kluzný profil dostane do nové krajní polohy (vysunuto) čep provozního zajišťování tlačенý pružinkou sám zaskočí do druhého vodícího kamene a zajišťuje tak novou vzájemnou polohu proti následnému pohybu (viz obr. 44 vpravo)
- Zasunutí se děje obdobně, pouze v opačném pořadí



Obr. 4-44 Ověření chodu kluzného vedení.

Vyhodnocení zkoušky:

Kluzné vedení po celé délce vysouvání kladlo přibližně stejný odpor, který by měl být později použitým pohonem snadno překonatelný. Během chodu nedocházelo k zadírání či svírání. Provozní zajišťování se v této fázi zkoušení ukázalo jako spolehlivé, osvědčily se především vodící kameny, díky nimž zajišťovací čep vždy správně zapadl. Kluzné vedení ve vysunuté poloze vykazovalo výraznější vůli.

4.6.6.2 Zkouška vysouvání rámu výsuvné zadní nápravy

4.6.6.2

Jakmile byl rám kompletně sestaven, bylo také provedeno odzkoušení vysouvání celé zadní nápravy. Postup byl obdobný jako v první fázi zkoušky (viz 4.6.6.1), pouze s tím rozdílem, že nyní byla vysouvána celá zadní náprava za pomoci navíjecího zařízení, přičemž zadní část rámu byla proti pohybu zajištěna lanem k zabetonovanému sloupku a přední částí rámu bylo pohybováno.



Obr. 4-45 Zkouška vysouvání – zasunutá poloha



Obr. 4-46 Zkouška vysouvání – vysunutá poloha

Vyhodnocení zkoušky:

Během vysouvání zadní nápravy nedocházelo k svírání ani zakusování kluzného vedení. K vysunutí bylo potřeba oproti první fázi vyvinout větší sílu, to se ale dalo vzhledem k většímu množství dílů v pohybu a větší celkové hmotnosti čekat. Vůle, která se projevila v první fázi testování ve vysunutém stavu, byla při montáži pohyblivé části rámu vymezena a při vysouvání rámu se již neprojevila. Provozní zajišťování bylo potřeba znovu seřídit, ale poté již pracovalo spolehlivě.

5 DISKUZE

Zadáním diplomové práce byl konstrukční návrh nově pojatého rámu výsuvné zadní nápravy vhodného pro použití u malých městských automobilů. Na základě testování funkčního vzorku rámu byla prakticky ověřena možnost vysouvání zadní nápravy pomocí lineárního kluzného vedení. Jako velmi vhodný a spolehlivý se ukázal především systém provozního zajišťování pomocí lineárních magnetů a vodících kamenů, který bezchybně pracoval po celou dobu zkoušek.

Během výroby funkčního vzorku bylo řešeno několik komplikací. Hned v počátku, při zadávání výroby ohýbaných profilů kluzného vedení nastal problém při volbě materiálu, ze kterého by mělo být vyrobeno. Původně bylo zvažováno již u prvního kusu použít nitridovatelný materiál, ale nastala komplikace se získáním takového materiálu. Proto bylo rozhodnuto první kus kluzného vedení vyrobít z materiálu S355 a po odzkoušení funkčního vzorku po mechanické stránce vyrobít další kus z již nitridovatelného materiálu, který lze na objednávku získat v zahraničí. Později tak vznikne možnost porovnat chod kluzného vedení bez a s nitridovaným povrchem. Při výrobě kluzného vedení bylo ověřeno, že všechny jeho hrany musí být pečlivě zaobleny. V jedné pasáži bylo toto opomenuto a při prvním zkoušení se profily navzájem zadíraly. Po odstranění hran a přeleštění poškozených míst se tento problém již nikdy neopakoval. U všech svařovacích prací týkajících se kluzného vedení bylo nutno důsledně dbát na pečlivé zajištění sestavených dílů v přípravcích, neboť jakékoliv zkroucení mohlo mít za následek, že se vedení bude svírat. V současné době bylo rozhodnuto, že pro testování v terénu bude rám výsuvné zadní nápravy vybaven i hydraulickým válcem s ruční pumpou. Bude tak umožněno praktické porovnání spolehlivosti a vhodnosti obou druhů pohonu vysouvání zadní nápravy. Za tímto účelem byly na rámu navíc vytvořeny upevňovací body pro tento válec.

Dosud provedená testování podvozku byla provedena v dílně firmy Termobit a jejich hlavním cílem bylo ověření základní funkce vysouvání rámu. Testování probíhalo ve dvou fázích. V první řadě bylo ověřeno vysouvání každého kluzného vedení zvlášť. V této fázi se neprojevovaly žádné potíže, co se týče chodu, ovšem především ve vysunuté poloze se uložení vedení jevílo jako až příliš volné. Poté, co byl rám kompletně složen, bylo znovu testováno vysouvání zadní nápravy (druhá fáze). Zde byl kladen důraz především na přesnost sestavení zadní pohyblivé části a kluzného vedení, neboť i ne příliš velký rozdíl způsoboval mírné zpříčení, které ovšem stačilo k tomu, že bylo k vysunutí potřeba značné síly. S výhodou tak byly použity navržené distanční podložky, s jejichž pomocí byla rozteč přesně nastavena. Rám je tedy nyní seřízen tak, že jej dokáže bez potíží ručně vysunout pouze jedna osoba. Při sestavování se také podařilo vymezit vůle zjištěné v první fázi testování tak, že nyní nejsou nijak patrné.

6 ZÁVĚR

Nosný rám výsuvné zadní nápravy byl navržen dle zadání a jeho konstrukce byla průběžně upravována dle požadavků zadavatele. Hlavním záměrem bylo použít k vysouvání zadní nápravy kluzného vedení, které je vyrobeno z plechových polotovarů formou přesného ohýbání na ohraňovacím lisu. Na tomto vedení budou v budoucnu firmou Termobit aplikovány různé povrchové úpravy a bude zkoumána jejich odolnost vůči opotřebení při provozu. V průběhu vytváření konstrukčního návrhu nosného rámu bylo také upřesněno použití přední nápravy. Vznikl tak požadavek, aby nosný rám umožňoval v přední části připojení kompletní přední nápravy z vozu Trabant 601S a to včetně pomocného rámu. Tím vzniklo omezení jak při navrhování výsuvné části nosného rámu, tak i při navrhování druhu zadní nápravy. Proto bylo rozhodnuto použít na zadní nápravu taktéž díly z vozu Trabant.

Celé konstrukční řešení bylo navrženo tak, aby bylo možné prototyp nosného rámu vyrábět v dílně konstrukční kanceláře Termobit. Externě byla zadána výroba speciálního kluzného vedení (Kovo-plazma), vypalování a ohýbání plechových dílů, obráběcí práce a částečně renovace náprav z vozu Trabant. Nejdůležitější částí výroby bylo svařování konstrukčních celků, které se týkají kluzného vedení, neboť bylo potřeba dodržet veškeré tolerance tak, aby byla zajištěna správná funkce jednotlivých dílů. Svařování bylo provedeno metodou TIG a to minimálně v dočasných přípravcích na speciálním svařovacím stole.

V současné době je vyroben samotný rám výsuvné zadní nápravy s přimontovanou přední a zadní nápravou, jehož funkčnost je po mechanické stránce ověřena a to včetně provozního zajišťování. Takto zhotovený rám byl předán firmě Termobit, která na něj bude postupně instalovat své produkty a testovat je na něm. Rám výsuvné zadní nápravy je tedy pouze jednou z několika částí elektromobilu. Do budoucna se předpokládá, že jakmile bude dokončen vývoj nového typu elektromotoru s řídicí jednotkou a ten bude v tomto podvozku odzkoušen, budou zadány další práce na řešení designu kabiny a konstrukci variant užitkových nástaveb.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

7

- [1] ŠLEHOFER, V. *Údržba a opravy vozu Trabant 600 a Trabant 601*. první vydání. Praha: SNTL, 1971. 304s.
- [2] SHIGLEY, J. E, MISCHKE, Ch. R, BUDYNAS, R. G. *Konstruování strojních součástí*. VUTIUM, 2008. 1300 s. ISBN 978-80-214-2629-0
- [3] *Auto 88* [online]. 2014 [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: <www.auto88.CZ>
- [4] *Elektromobily* [online]. 2014 [cit.2014-03-20]. Dostupné z: <www.elektromobily.eu>
- [5] *Alke* [online]. 2014 [cit.2014-03-20]. Dostupné z: <www.alke.com>
- [6] *CarGo concept* [online]. 2014 [cit.2014-03-20]. Dostupné z: <<http://www.carbodydesign.com>>
- [7] *coroflot* [online]. 2014 [cit.2014-03-20]. Dostupné z: <<http://www.coroflot.com>>
- [8] interní zdroj firmy Termobit
- [9] *bohler - uddeholm* [online]. 2014 [cit.2014-03-22]. Dostupné z: <www.bohler-uddeholm.cz>
- [10] *Ateam.czu* [online]. 2014 [cit.2014-03-22]. Dostupné z: <http://www.ateam.zcu.cz/tenke_vrstvy_fel_1.pdf>
- [11] NOVÁK, Pavel, VOJTĚCH Dalibor, ŠERÁK Jan, NOVÁK Michal a KNOTEK Vítězslav. Duplexní povlakování PM nástrojové oceli legované Niobem. *Metal*. 2006, č. 1, s. 8.
- [12] *Lin-tech* [online]. 2014 [cit.2014-03-20]. Dostupné z: <www.lin-tech.hennlich.cz>
- [13] *Technimetal* [online]. 2014 [cit.2014-03-26]. Dostupné z: <www.technimetal.cz>
- [14] *Heyman* [online]. 2014 [cit.2014-03-26]. Dostupné z: <www.heyman.cz>
- [15] [program] Autodesk Inventor, verze 2010. Autodesk, Inc.
- [16] *Jan Svoboda* [online]. 2014 [cit.2014-03-26]. Dostupné z: <www.jansvoboda.cz>
- [17] [program] ANSYS Workbench, verze 12.1.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

MKP		- metoda konečných prvků
J_x	[mm ⁴]	- kvadratický moment
M	[Nm]	- moment
r_a	[mm]	- vzdálenost těžiště šroubového spoje od osy šroubu
$F'a$	[N]	- zatížení šroubu od síly působící kolmo na jeho osu
$F''a$	[N]	- zatížení šroubu od momentu kolmo na jeho osu
α	[°]	- úhel odklonu šroubového spoje od osy vedení
$F_{va(b,c,d)}$	[N]	- celková síla od hmotnosti elektromobilu
F_{brzd}	[N]	- reakce od zpomalení vozu na nápravu
M_b	[Nm]	- moment od brzdného účinku na jeden kluzný profil
F_{zn}	[N]	- max. síla z $F_{va(b,c,d)}$ při zatížení nápravy od hmotnosti
F_{zb}	[N]	- max. síla z $F_{va(b,c,d)}$ při zatížení nápravy od brzd
F_v	[N]	- výsledná síla působící kolmo na šrouby
d_2	[mm]	- střední průměr závitu
d_3	[mm]	- malý průměr závitu
A_s	[mm ²]	- výpočtový průřez šroubu
P	[mm]	- stoupání šroubu
f_s	[-]	- součinitel tření
f_o	[-]	- součinitel tření pod hlavou šroubu
f	[-]	- součinitel tření v závitech
k_n	[-]	- návrhový součinitel
S	[mm]	- rozměr klíče
H	[mm]	- výška základního trojúhelníku
m	[mm]	- výška matice
F_i	[N]	- síla od předpětí šroubu
d_o	[mm]	- střední průměr dosedací plochy pod hlavou šroubu
σ_i	[MPa]	- napětí od síly předpětí
τ	[MPa]	- smykové napětí ve šroubu
σ_{red}	[MPa]	- redukované napětí
$R_{p0,2}$	[MPa]	- smluvní mez kluzu
K_k	[-]	- součinitel bezpečnosti
D_1	[mm]	- malý průměr závitu matice
n_z	[-]	- počet aktivních závitů matice
p	[MPa]	- tlak v závitech
S_s	[mm ²]	- střižná plocha
S_o	[mm ²]	- plocha na otláčení
F_k	[N]	- síla působící na kladky pohyblivého rámu korby
$F_{\check{c}}$	[N]	- síla působící na čepy pohyblivého rámu korby
a	[m.s ⁻²]	- zrychlení
t	[s]	- čas
ΔS	[m]	- rozdíl vzdáleností
ΔV	[m.s ⁻¹]	- rozdíl rychlostí

9 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ**9**

Obr. 1-1 GWL Elta	15
Obr. 1-2 N.CAR 341	16
Obr. 1-3 Alke´ XT320E	17
Obr. 1-4 CarGo Krátká varianta – korba ve vertikální poloze	18
Obr. 1-6 CarGo Dlouhá varianta – korba ve vodorovné poloze	19
Obr. 1-7 CarGo úložný prostor – korba a její multifunkčnost	19
Obr. 1-8 RDV – lineární vysouvání zadní nápravy	20
Obr. 1-9 RDV – manipulace s úložným prostorem	21
Obr. 2-1 Lineární vedení speciálního průřezu	26
Obr. 2-2 Kompletní přední náprava automobilu Trabant 601S	27
Obr. 3-1 Vysouvání lineárního vedení pomocí vodících kladek	29
Obr. 3-2 Ukázka teleskopického krytu včetně stěračů	31
Obr. 3-3 Ukázka tvarového stěrače	32
Obr. 3-4 Základní tvary krycích měchů	33
Obr. 3-5 Uzávěra R4-50	34
Obr. 3-6 Konstrukční návrh vlastní zadní lichoběžníkové nápravy.	35
Obr. 3-7 Konstrukční návrh využívající zadní nápravy z vozu Trabant 601S.	36
Obr. 4-1 Celkový pohled na nosný rám elektromobilu – zepředu.....	39
Obr. 4-2 Celkový pohled na nosný rám elektromobilu – zezadu.	39
Obr. 4-3 Hlavní rozměry podvozku elektromobilu	40
Obr. 4-4 Princip vysouvání zadní nápravy	41
Obr. 4-5 Odvalující se vodící kladky.....	41
Obr. 4-6 Řez kluzným vedením.	43
Obr. 4-7 Pevná část rámu.....	44
Obr. 4-8 Pohyblivá část rámu.	45
Obr. 4-9 Upevnění vnitřního profilu	45
Obr. 4-10 Vnitřní profil.	46
Obr. 4-11 Schema zatížení upevňovacích šroubů	47
Obr. 4-12 Schema zatížení upevňovacích šroubů od hmotnosti elektromobilu	47
Obr. 4-13 Výpočet sil F_{va} , F_{vc}	49
Obr. 4-14 Schema zatížení upevňovacích šroubů od brzd	50
Obr. 4-15 Výpočet sil F_{va} , F_{vb}	52
Obr. 4-16 Výpočet celkové síly na šroubu B.....	52
Obr. 4-17 Vodící kolejnička.	55
Obr. 4-18 Rám korby.....	56
Obr. 4-19 Provozní zajišťovací zařízení.	57
Obr. 4-20 Vodící kámen.	58
Obr. 4-21 Uložení provozního zajištění do pevné části rámu elektromobilu	58
Obr. 4-22 Síla působící na upevňovací šrouby od vzniklého momentu.	61
Obr. 4-23 Montážní zajišťovací zařízení	63
Obr. 4-24 Krycí měch, tak jak je zobrazen v online objednávce Lin-tech	64
Obr. 4-25 Řez krycím měchem instalovaným na konstrukci nosného rámu.....	65
Obr. 4-26 Uchycení přední nápravy vozu Trabant 601	65
Obr. 4-27 Uchycení zadních polonáprav vozu Trabant 601	66
Obr. 4-28 Rám upravený pro pevnostní analýzu	67

Obr. 4-29 síť konečných prvků	67
Obr. 4-30 Vazby a zatížení rámu při základní analýze	68
Obr. 4-31 Výsledek základní analýzy.	69
Obr. 4-32 Vazby a zatížení rámu při rovnoměrně zrychleném pohybu.....	69
Obr. 4-33 Výsledek analýzy rovnoměrně zrychleného pohybu vozidla.....	70
Obr. 4-34 Vazby a zatížení rámu při intenzivním brzdění.....	71
Obr. 4-35 Výsledek analýzy při intenzivním brzdění vozidla.	71
Obr. 4-35 Vyjmutí přední nápravy včetně pomocného rámu.	73
Obr. 4-36 Zrenovované pravé rameno zadní nápravy	73
Obr. 4-37 Vzorek kluzného vedení.	74
Obr. 4-38 Zkušební sestavení vedení během svařovacích prací.	74
Obr. 4-39 Pohyblivá část rámu.	75
Obr. 4-40 Pevná část rámu.....	76
Obr. 4-41 Provozní zajišťování	77
Obr. 4-42 Montáž zadní nápravy na pohyblivou část rámu.....	77
Obr. 4-43 Sestavený rám výsuvné zadní nápravy.....	78
Obr. 4-44 Ověření chodu kluzného vedení.	79
Obr. 4-45 Zkouška vysouvání – zasunutá poloha.....	79
Obr. 4-46 Zkouška vysouvání – vysunutá poloha	80

10 SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace

Rám výsuvné zadní nápravy

RamVZN-00

Rám pevná část

RamVZN-01

Vnější profil

RamVZN-01/01

Vedení vnější

RamVZN-01/01/01

Boční uzavření 3

RamVZN-01/01/02

Boční uzavření 4

RamVZN-01/01/03

Upevnění zajištění

RamVZN-01/01/04

Čelní žebro

RamVZN-01/02

Výztuha rámu 1

RamVZN-01/03

Výztuha rámu 2

RamVZN-01/04

Výztuha kabiny

RamVZN-01/05

Výztuž nápravy L

RamVZN-01/06

Výztuž nápravy P

RamVZN-01/07

Držák kolejnice

RamVZN-01/08

Výztuž 1

RamVZN-01/09

Výztuž 2

RamVZN-01/10

Záslepka

RamVZN-01/12

Pohyblivá část

RamVZN-02

Rám pohyblivá část

RamVZN-02/01

Základní rám

RamVZN-02/01/01

Výztuha 1

RamVZN-02/01/02

Výztuha 2

RamVZN-02/01/03

Podběh levý

RamVZN-02/01/04

Podběh pravý

RamVZN-02/01/05

Výztuž podběhu L

RamVZN-02/01/06

Výztuž podběhu P

RamVZN-02/01/07

Výztuha 3

RamVZN-02/01/08

Výztuha 4

RamVZN-02/01/09

Úchyt třmenu

RamVZN-02/01/10

Výztuha šroubu 2

RamVZN-02/01/11

Závěs korby

RamVZN-02/01/12

Záslepka

RamVZN-02/01/14

Vnitřní profil

RamVZN-02/02

Vedení vnitřní

RamVZN-02/02/01

Boční uzavření 1

RamVZN-02/02/02

Boční uzavření 2

RamVZN-02/02/03

Čelní uzavření 1

RamVZN-02/02/04

Čelní uzavření 2

RamVZN-02/02/05

Domek kamene	RamVZN-02/02/06
Výztuha šroubu 1	RamVZN-02/02/07
Kámen	RamVZN-02/03
Vodící kámen	RamVZN-02/03/01
Krytka kamene	RamVZN-02/04
Kluzné ložisko	RamVZN-02/05
Podložka	RamVZN-02/06
Zajišťovací zařízení	RamVZN-05
Domek	RamVZN-05/01
Zajišťovací čep	RamVZN-05/02
Krycí domek	RamVZN-05/03
Příruba 1	RamVZN-05/03/01
Příruba 2	RamVZN-05/03/02
Tělo domku	RamVZN-05/03/03
Čep	RamVZN-05/04
Mechanická zarážka	RamVZN-06
Záchyt výsuvu	RamVZN-06/01
Základna zarážky	RamVZN-06/02